

TUGAS AKHIR - TM 091585

**STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH VARIASI
TEMPERATUR DAN WAKTU PENAHANAN
PARTITIONING PADA PROSES *QUENCHING* -
PARTITIONING BAJA JIS S45C DI ATAS
TEMPERATUR *MARTENSITE START***

MUHAMMAD HAFIDH
NRP. 2111100171

Dosen Pembimbing
Wahyu Wijanaro, ST., MSc.

JURUSAN TEKNIK MESIN
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017



TUGAS AKHIR - TM 091585

**STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH
VARIASI TEMPERATUR DAN WAKTU
PENAHANAN *PARTITIONING* PADA PROSES
QUENCHING-PARTITIONING BAJA JIS S45C
DI ATAS TEMPERATUR *MARTENSITE
START***

**MUHAMMAD HAFIDH
NRP 2111 100 171**

**Dosen Pembimbing
Wahyu Wijanarko, ST, M.Sc.**

**Jurusan Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2017**



FINAL PROJECT - TM 091585

**EXPERIMENTAL STUDY OF
PARTITIONING'S TIME AND TEMPERATURE
VARIATION EFFECT ON QUENCHING
PARTITIONING PROCESS IN JIS S45C STEEL
ABOVE MARTENSITE START TEMPERATURE**

MUHAMMAD HAFIDH
NRP 2111 100 171

Supervising Lecturer
Wahyu Wijanarko, ST, M.Sc.

Mechanical Engineering Department
Faculty of Industrial Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2017

**STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH VARIASI
TEMPERATUR DAN WAKTU PENAHANAN
PARTITIONING PADA PROSES QUENCHING-
PARTITIONING BAJA JIS S45C DI ATAS
TEMPERATUR MARTENSITE START**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

MUHAMMAD HAFIDH
NRP. 2111 100 171

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Wahyu Wijanarko, ST., MSc. (Pembimbing)
NIP. 198202092012121001
2. Hari Subiyanto, S.T. MSc. (Penguji I)
NIP. 196006231988031002
3. Indra Sidharta, ST., MSc. (Penguji II)
NIP. 198006192006041004
4. Suwarno, ST., MSc., Ph.D (Penguji III)
NIP. 198005202005011003

SURABAYA

JANUARI, 2017

**STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH VARIASI
TEMPERATUR DAN WAKTU PENAHANAN
PARTITIONING PADA PROSES *QUENCHING*
PARTITIONING BAJA JIS S45C DI ATAS TEMPERATUR
MARTENSITE START**

Nama Mahasiswa : Muhammad Hafidh
NRP : 2111 100 171
Jurusan : Teknik Mesin FTI-ITS
Dosen Pembimbing : Wahyu Wijanarko, ST, M.Sc

Abstrak

Perlakuan panas merupakan salah satu cara untuk memperbaiki sifat mekanik dari material. Prinsip perlakuan panas pada baja adalah transformasi fasa austenite menjadi fasa lain. Proses quenching dan partitioning adalah proses perlakuan panas untuk memperbanyak jumlah retained austenite pada temperatur kamar untuk mendapatkan baja hasil perlakuan panas yang kuat, keras, namun tangguh. Pada penelitian ini akan dilakukan proses quenching dan partitioning pada baja JIS S45C.

Proses perlakuan panas quenching dan partitioning dilakukan pada baja JIS S45C dengan pemanasan dalam dapur sampai temperatur austenisasi 900°C dengan waktu tahan 4 jam. Proses dilanjutkan dengan pencelupan spesimen dalam salt bath pada temperatur quenching 230°C dengan waktu tahan 10 detik. Spesimen yang telah diquenching kemudian dicelupkan dalam salt bath pada temperatur partitioning yang divariasikan 350°C, 375°C, 400°C dan 425°C dengan variasi waktu tahan 10, 100, dan 1000 detik. Media pendinginan dari temperatur partitioning adalah air. Spesimen yang telah diberi perlakuan panas akan diuji untuk mengetahui perubahan yang terjadi pada sifat mekanik dan struktur mikro. Uji tersebut meliputi uji tarik, uji metalografi dan uji kekerasan.

Hasil yang didapat dari penelitian ini adalah adanya peningkatan kekuatan, kekerasan dan ketangguhan dari baja JIS

S45C yang diikuti dengan penurunan pertambahan panjang dan reduction area.

Kata kunci: baja JIS S45C, quenching dan partitioning, fraksi fasa retained austenite, sifat mekanik

EXPERIMENTAL STUDY OF PARTITIONING'S TIME AND TEMPERATURE VARIATION EFFECT ON QUENCHING PARTITIONING PROCESS IN JIS S45C STEEL ABOVE MARTENSITE START TEMPERATURE

Student's Name : Muhammad Hafidh
Reg. number : 2111 100 171
Department : Mechanical Engineering ITS
Supervising Lecturer : Wahyu Wijanarko, ST, M.Sc

Abstract

Heat treatment of steel is one of many ways to improve mechanical properties of materials. The basic principles of heat treatment of steel is to transform austenite phase to other possible form. Quenching partitioning is a heat treatment process to enhance the amount of retained austenite at room temperature condition. This process is aimed to produce a strong, hard but tough steel. JIS S45C steel was used in this experiment.

The experiment begins by heating the steel up to 900°C for 4 hours. The very steel then quenched in water as the media for 10 seconds. Followed by reheating process in salt bath to various temperature from 350°C, 375°C, 400°C and 425°C, and various partitioning time from 10 seconds, 100 seconds to 1000 seconds. The post-partitioning cooling media is water. The next step is to test the treated specimen to see the changes in mechanical properties and microstructure. The tests are tensile test, hardness test, and metallography test.

The results indicates that there are improvements in strength, hardness and toughness of JIS S45C steel followed by decreasing elongation and reduction area due to increased stiffness after the process.

Keywords : JIS S45C steel, quenching and partitioning, retained austenite phase fraction, mechanical properties.

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT, atas rezeki dan ilmu-Nya penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir tentang **Studi Eksperimental Pengaruh Variasi Temperatur dan Waktu Penahanan *Partitioning* pada *Quenching Partitioning* Baja JIS S45C di atas Temperatur *Martensite Start***, sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan perkuliahan program sarjana di Jurusan Teknik Mesin, FTI – ITS.

Adapun keberhasilan penulis dalam penyelesaian tugas akhir ini tidak luput dari dukungan, motivasi dan bantuan oleh banyak pihak. Oleh itu, penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih dan penghargaan sebesar – besarnya kepada,

1. **Abi Mawardi** dan **Mami Roza** selaku bapak dan ibu tercinta, **Ayah Wimbo** dan juga **Bunda Inda** atas doa, kesabaran, dan pengorbanannya dalam mendidik dan menuntun penulis hingga mencapai sarjana. Serta adik adik penulis yang sangat banyak dan tidak bisa disebutkan satu per satu, terimakasih atas dukungan dan semangatnya.
2. Bapak **Ir. Yusuf Kaelani, M.Sc** selaku dosen wali penulis, atas motivasi dan kepercayaan beliau terhadap perkuliahan penulis selama lima setengah tahun.
3. Bapak **Wahyu Wijanarko, S.T, M.Sc** selaku dosen pembimbing, atas dedikasi dan kesabaran beliau membimbing penulis.
4. Bapak **Ir. Hari Subiyanto, M.Sc, DEA**, Bapak **Indra Sidharta, S.T, M.Sc**, dan Bapak **Suwarno, S.T, M.Sc, Ph.D**, selaku dosen penguji penulis atas kritik dan saran yang diberikan agar tugas akhir ini terlaksana dengan baik.
5. Teman – teman seperjuangan **M – 54** (angkatan 2011) atas suka duka dan pengalaman bersama selama 5,5 tahun kuliah.
6. Keluarga **Lab. Metalurgi**, yaitu “*Warno Warriors*”, “*Tikno Squad*” atas kehebohannya selama menggarap tugas akhir yang cukup lama ini.

7. “Wahyu Illahi” yaitu Khisni “Suneo” Sains, dan Chandra Prastyadi “*greetings from Senegal*”. Akhirnya kita lulus bareng ya hehe. Semoga pertemanan ini awet sampai tua *brother*.
8. Keluarga besar **Mesin Music Club**, atas pengalaman mengurus organisasi dan membangun keluarga baru di Teknik Mesin ITS.
9. Keluarga besar **SAT Project**, Ozie, Ican, Adit, Ican, Raihan, Ben, Tiara, Rinanda, Angel, Moris dan Adit PK (?) atas pengalaman bermusik istimewa yang kita jalanin bareng. Semoga cita-cita kita termasuk cita – citaku buat jadi musisi tercapai ya hehehe.
10. Terimakasih special untuk **Afifah Harmayanti** atas dukungannya, perhatiannya dan suka dukanya selama tiga tahun yang cukup berat ini. *May all your dreams come true..*
11. Semua pihak yang telah membantu dan mendukung penulis dan tidak dapat disebutkan satu per satu di sini.

Penulis sadar laporan tugas akhir ini masih jauh dari sempurna. Oleh itu, kritik dan saran akan sangat bermanfaat agar dapat hasil penelitian ini dengan sebaik – baiknya.

Wassalamu’alaikum wr.wb.

Surabaya, Januari 2017

Penulis

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
DAFTAR ISI.....	ii
DAFTAR PUSTAKA.....	iii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
1.6 Sistematika Penulisan.....	4
 BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	 5
2.1 Baja	5
2.1.1 Baja Karbon	5
2.1.2 Baja JIS S45C	6
2.2 Proses Perlakuan Panas	7
2.2.1 <i>Quenching</i>	8
2.2.2 <i>Quenching</i> dan <i>Partitioning</i>	11
2.3 Fasa dan Struktur Mikro	14
2.4 Studi yang Pernah Dilakukan Sebelumnya	19
 BAB III METODOLOGI PENELITIAN	 24
3.1 Diagram Alir Penelitian	24
3.2 Material	25
3.3 Proses Perlakuan Panas <i>Quenching</i> dan <i>Partitioning</i>	26

3.4 Peralatan yang Digunakan	29
3.5 Langkah – Langkah Pengujian.....	32
3.5.1 Proses <i>Quenching Partitioning</i>	32
3.5.2 Proses Pengujian <i>Tensile</i>	33
3.5.3 Proses Pengujian <i>Hardness</i>	34
3.6 Tabel Perencanaan Pengujian	35
3.6.1 Tabel <i>Tensile</i> Test	35
3.6.3 Tabel <i>Hardness</i> Test	37
 BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN.....	38
4.1 Data Hasil Pengujian.....	38
4.1.1 Uji Tarik.....	38
4.1.2 Uji Kekerasan.....	44
4.2 Uji Statistik	47
4.2.1 Uji Statistik <i>Ultimate Tensile Strength</i>	48
4.2.2 Uji Statistik Ketangguhan	49
4.2.3 Uji Statistik Pertambahan Panjang	50
4.3 Analisis Data	51
 BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	62
5.1 Kesimpulan	62
5.1.1 Pengujian Tarik.....	62
5.1.2 Pengujian Kekerasan.....	62
5.1.3 Pengamatan Struktur Mikro	62
5.2 Saran	63
DAFTAR PUSTAKA.....	64
BIODATA PENULIS.....	71

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Temperatur pemanasan baja JIS S45C pada diagram Fe – Fe ₃ C	8
Gambar 2.2 Diagram TTT pada baja AISI 1045 (ekuivalen dengan JIS S45C) dengan pendinginan Isothermal	10
Gambar 2.3. Proses One Step <i>Quenching Partitioning</i>	12
Gambar 2.4. Proses Two Step <i>Quenching Partitioning</i>	12
Gambar 2.5 Diagram Fasa Fe – Fe ₃ C	14
Gambar 2.6. Struktur kristal FCC, BCC, dan BCT	15
Gambar 2.7. Perubahan struktur kristal dari FCC menjadi BCT	16
Gambar 2.8. Stuktur dari <i>martensite</i> a. <i>Lath Structure</i> , dan b. <i>Plate Structure</i>	17
Gambar 2.9. Skema proses <i>quenching</i> dan <i>partitioning</i> . (C_i menunjukkan kadar karbon dari paduan, C_γ menunjukkan kadar karbon pada austenite, dan C_m menunjukkan kadar karbon pada <i>martensite</i> . Sedangkan QT adalah temperatur <i>quenching</i> dan PT adalah temperatur <i>partitioning</i>)	21
Gambar 2.10. Gambar 2.10. Prediksi fraksi <i>retained austenite</i> setelah <i>partitioning</i> fungsi temperatur <i>quenching</i> untuk kadar karbon yang berbeda [16]	22
Gambar 2.11. Variasi fraksi <i>retained austenite</i> fungsi temperatur <i>quenching</i> dan temperatur <i>partitioning</i>	23
Gambar 3.1. Diagram alir penelitian yang digunakan	24
Gambar 3.2.1. Spesimen Uji Tarik	26
Gambar 3.3 Skema Penelitian	28
Gambar 3.2. Skema proses perlakuan panas <i>Quenching Partitioning</i>	19

Gambar 3.4.1 <i>Furnace Nabertherm</i>	29
Gambar 3.4.2 Dapur <i>partitioning</i>	30
Gambar 4.1. Grafik <i>Yield strength</i> Terhadap	39
Gambar 4.2. Grafik <i>Ultimate Tensile Strength</i> Terhadap....	39
Gambar 4.3 (a). Grafik <i>Reduction area</i> terhadap variasi waktu dan temperatur <i>partitioning</i> (b). Grafik <i>Elongation</i> terhadap variasi waktu dan temperatur <i>partitioning</i>	41
Gambar 4.4 Grafik IT AISI 1045	44
Gambar 4.5 Grafik nilai kekerasan terhadap Temperatur dan Waktu <i>Partitioning</i>	46
Gambar 4.6. Struktur mikro baja JIS S45C <i>as received</i> (a). Perbesaran 500x (b). Perbesaran 1000x	51
Gambar 4.7 Struktur mikro baja AISI 1040 [1]	52
Gambar 4.8. (a) Struktur mikro AISI 1040 [1] (b). Struktur mikro baja JIS S45C setelah perlakuan panas	53
Gambar 4.9 Struktur mikro baja JIS S45C setelah diberi perlakuan <i>Quenching Partitioning</i> pada temperatur <i>quenching</i> 230 C dan temperatur <i>partitioning</i> (a). 350 C (b). 375 C (c). 400 C (d). 425 C dengan waktu penahanan 1000 detik	58
Gambar 5. Struktur mikro baja JIS S45C setelah diberi perlakuan <i>Quenching Partitioning</i> pada temperatur <i>quenching</i> 230 C dan temperatur <i>partitioning</i> 425 C dan waktu penahanan (a). 10 detik (b). 100 detik (c). 1000 detik	6

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Komposisi Kimia JIS S45C.....	6
Tabel 3.6.1 Tabel <i>Tensile</i> Test	35
Tabel 3.6.2 Tabel <i>Hardness</i> Test.....	37
Tabel 4.1 Hasil Pengujian Tarik Spesimen Perlakuan Panas	38
Tabel 4.2 Data <i>Reduction area</i> , <i>Elongation</i> dan <i>Toughness</i> Spesimen JIS S45C Setelah <i>Quenching Partitioning</i>	41
Tabel 4.3 Tabel Hasil Pengujian Kekerasan Spesimen	45
Tabel 4.4 Tabel Uji Statistik Two Way Anova Faktorial UTS	48
Tabel 4.5 Tabel Uji Statistik Two Way Anova Faktorial Ketangguhan	49
Tabel 4.5 Tabel Uji Statistik Two Way Anova Faktorial Pertambahan Panjang.....	61

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Di zaman yang semakin maju ini, kebutuhan akan material dengan sifat unggul dan harga yang terjangkau meningkat dengan pesat. Berbagai jenis material dengan berbagai keunggulan diciptakan untuk memenuhi berbagai kebutuhan ini. Pemilihan material untuk sebuah kebutuhan didasarkan pada sifat mekanik, ketahanan korosi, dan *machinability*.

Setiap jenis material memiliki keterbatasan. Material yang memiliki kekuatan dan kekerasan permukaan tinggi biasanya memiliki keuletan yang rendah. Sementara material yang memiliki keuletan tinggi biasanya memiliki kekuatan dan kekerasan permukaan yang rendah. Lebih jauh lagi, material yang memiliki kekuatan, kekerasan, serta keuletan yang baik biasanya memiliki harga yang mahal.

Untuk memenuhi kebutuhan akan material yang memiliki sifat baik tersebut, banyak metode alternatif yang dilakukan. Salah satunya adalah proses perlakuan panas (*heat treatment*). Perlakuan panas umumnya dilakukan pada baja. Metode ini paling banyak diaplikasikan pada baja karena relatif tidak terlalu sulit, dan memiliki tingkat fleksibilitas yang tinggi. Hasil dari perlakuan panas dapat divariasikan sesuai kebutuhan dari material tersebut.

Baja digunakan pada peralatan-peralatan mulai dari beban ringan hingga beban berat. Peralatan-peralatan, seperti poros turbin, *sprocket* dan piston hidrolik

menggunakan baja sebagai bahan dasarnya. Aplikasi tersebut menuntut sifat ketangguhan dan kekerasan yang tinggi dari baja jenis ini, sehingga perlu dilakukan proses perlakuan panas untuk menaikkan sifat mekanik dari baja sebelum digunakan pada peralatan-peralatan tersebut.

Proses perlakuan panas sendiri terdiri dari beberapa macam seperti *quenching*, *martempering*, dan *austempering*. Di antara metode tersebut, *quenching* paling umum digunakan. Kemudian dilanjutkan dengan proses *tempering*. Proses *quenching tempering* ini menghasilkan baja dengan kekuatan dan kekerasan yang tinggi, namun memiliki ketangguhan yang cukup baik. Selain itu proses ini memiliki tingkat kesulitan pelaksanaan yang relatif rendah.

Perlakuan panas *quenching partitioning* merupakan pengembangan dari metode perlakuan panas *quenching tempering*. Kedua proses ini memiliki langkah – langkah yang relatif sama. Perbedaanannya terletak pada struktur mikro yang dihasilkan. *Quenching tempering* menghasilkan fasa *martensite* temper, sementara *quenching partitioning* menghasilkan *retained austenite* dan *martensite*. Perbedaan struktur mikro ini menghasilkan perbedaan sifat mekanik yang signifikan pula.

Pada penelitian diharapkan agar baja JIS S45C mengalami peningkatan kekuatan, kekerasan, dan ketangguhan setelah diberi perlakuan panas.

1.2. Perumusan Masalah

Dalam penelitian ini akan dibahas permasalahan yang meliputi:

1. Menghasilkan baja JIS S45C yang kuat, keras, namun tangguh dari perlakuan panas yang diberikan.

2. Mengetahui bagaimana pengaruh variasi temperatur *quenching partitioning* terhadap kekuatan, kekerasan, ketangguhan baja JIS S45C
3. Mengetahui pengaruh struktur mikro terhadap sifat mekanik dari baja JIS S45C.

1.3. Batasan Masalah

Untuk dapat menyelesaikan permasalahan yang muncul dalam penelitian dan mencapai tujuan yang diinginkan, maka diperlukan batasan masalah, antara lain:

1. Komposisi material dianggap homogen dan isotropik.
2. Tidak terdapat cacat dalam maupun retak visual.
3. Pengaruh lingkungan tidak berpengaruh signifikan terhadap pengujian.
4. Pemanasan pada saat proses *quenching* dan *partitioning* sempurna dan merata di seluruh spesimen uji.
5. Waktu pemindahan spesimen uji dari dapur pemanas ke media pendingin setiap tahapan proses adalah sama untuk spesimen uji.
6. Kondisi peralatan yang digunakan saat pengujian dan pengambilan data telah terkalibrasi.

1.4. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah:

- Untuk mengetahui pengaruh variasi PT (temperatur *partitioning*) dan waktu *partitioning* terhadap sifat mekanik pada baja JIS S45C.
- Untuk menghasilkan baja JIS S45C yang kuat, keras, namun tangguh dari perlakuan panas yang diberikan.

1.5. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah mengembangkan aplikasi *quenching* dan *partitioning* pada dunia industri.

1.6. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan laporan penelitian dibagi dalam beberapa bab sebagai berikut:

1. Bab 1 Pendahuluan

Bab ini berisi tentang latar belakang, perumusan masalah, batasan masalah, tujuan, manfaat, serta sistematika penulisan penelitian.

2. Bab 2 Tinjauan Pustaka

Bab ini dibagi menjadi 2 bagian, yaitu teori penunjang dan studi hasil penelitian terkait yang sudah ada. Teori penunjang berisi semua hal yang menunjang dalam melakukan analisa hasil penelitian. Sedangkan studi hasil penelitian terkait yang sudah ada berisi tentang penelitian-penelitian sebelumnya yang ada korelasinya dengan tugas akhir ini, yang menjadi penunjang dalam melakukan analisa data.

3. Bab 3 Metodologi Penelitian

Bab ini berisi uraian – uraian urutan proses pengerjaan tugas akhir ini dari awal sampai akhir.

4. Bab 4 Analisis Data dan Pembahasan

Bab 4 berisi penjelasan tentang data hasil pengujian yang dilakukan, yang meliputi hasil uji tarik (*tensile*), uji kekerasan (*hardness*) dan uji metalografi. Selain itu, pada bab ini akan dijelaskan analisa hasil-hasil yang diperoleh selama pengujian dilakukan, pembahasan mengenai hubungan antara hasil pengujian dengan teori yang telah ada, dan berbagai macam analisa penunjang lain yang diperlukan.

5. Bab 5 Kesimpulan dan Saran

Bab penutup ini terdiri dari kesimpulan dan saran untuk pengembangan eksperimen dalam penelitian selanjutnya.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Baja

Baja merupakan salah satu material yang paling banyak digunakan di bumi. Baja memiliki penyusun utama Fe dan unsur paduan utama karbon (C) dengan kadar tidak lebih dari 2% wt. Keunggulan baja dibanding material lain adalah jumlah bahan bakunya yang melimpah di alam serta proses ekstraksi dan pengolahan yang tergolong murah dan mudah. Selain harganya murah, baja juga memiliki sifat mekanik yang cukup baik untuk berbagai macam aplikasi. Baja dapat diberi perlakuan panas untuk mengubah sifat mekanisnya.

Berdasarkan komposisi kimianya, baja dibagi menjadi dua yaitu baja karbon (*plain carbon steel*) dan baja paduan (*alloy steel*) yaitu baja yang memiliki paduan lain selain karbon pada komposisinya.

2.1.1. Baja Karbon

Baja karbon adalah baja dengan karbon sebagai penyusun utamanya. Unsur lain juga terdapat pada baja karbon namun dengan kadar di bawah 1%. Baja karbon dibagi tiga jenis berdasarkan kadar karbonnya yaitu baja karbon rendah (*low carbon steel*), baja karbon sedang (*medium carbon steel*), dan baja karbon tinggi (*high carbon steel*).

Keunggulan dari baja karbon yaitu memiliki rentang kekuatan yang cukup besar dan sifat mekaniknya dapat diubah dengan proses perlakuan panas. Karena memiliki keuletan yang cukup tinggi, baja tergolong sebagai material yang memiliki *formability* dan *machinability* yang cukup baik.

Baja karbon memiliki beberapa kekurangan yaitu penurunan kekuatan pada suhu tinggi, ketahanan *impact* yang buruk pada suhu rendah, ketahanan korosi yang buruk karena baja karbon sangat mudah beroksidasi dengan lingkungannya, serta jika baja karbon dikuatkan melebihi titik tertentu keuletan dan ketangguhannya akan menurun secara signifikan

2.1.2 Baja S45C

Baja JIS S45C merupakan baja karbon medium, dan setara dengan AISI 1040, ASTM A510, DIN 1.1191 atau Assab 760. Baja JIS S45C yang digunakan memiliki komposisi kimia sebagai berikut :

Tabel 2.1. Komposisi Kimia JIS S45C

Elemen	% wt
C	0.42
Mn	0.67
P	0.018
S	0.007
Fe	98.5

Sifat baja jenis ini memiliki kemampuan tempa (*forgeability*) dan *machinability* yang sangat baik

2.2. Proses Perlakuan Panas

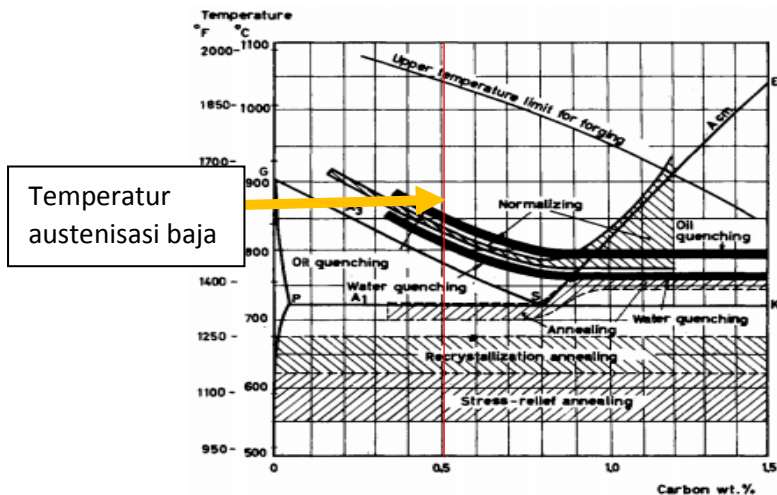
Proses perlakuan panas adalah gabungan dari proses pemanasan dan pendinginan yang masing – masingnya diberikan pada waktu tertentu. Proses ini diaplikasikan pada logam atau paduannya untuk mendapatkan sifat mekanik tertentu yang diinginkan. Hal ini mungkin dilakukan karena proses ini mengubah fasa pada baja menjadi *austenite* melalui pemanasan, kemudian dengan proses pendinginan tertentu *austenite* akan terdekomposisi menjadi *pearlite*, *bainite*, dan *martensite*.

Berdasarkan prosesnya, tinggi temperatur pemanasan, lama penahanan dan kecepatan pendinginan logam, perlakuan panas dibedakan menjadi dua, yaitu perlakuan panas yang menghasilkan struktur yang ekuilibrium dan perlakuan panas yang menghasilkan struktur non ekuilibrium. Sifat logam yang dihasilkan dari perlakuan panas *non-ekuilibrium* adalah kekerasan dan kekuatan yang tinggi.

Contoh perlakuan panas non-ekuilibrium adalah *quenching*, *tempering* dan *austempering*. Logam yang telah mengalami perlakuan panas non-ekuilibrium memiliki kekerasan dan kekuatan yang tinggi, namun memiliki keuletan yang rendah.

2.2.1 Quenching

Quenching adalah perlakuan panas yang dilakukan dengan cara memanaskan material sampai ke suhu di atas suhu austenisasinya, kemudian didinginkan dengan laju pendinginan cepat yang dilakukan dalam suatu media pendingin seperti air, oli atau *salt bath* untuk memperoleh baja dengan sifat mekanik yang lebih kuat dan keras, namun getas (*brittle*). Dalam prosesnya, temperatur baja ditahan selama beberapa waktu pada temperatur austenisasi untuk menghomogenkan seluruh fasa pada baja menjadi *austenite*. Setelah waktu tertentu, baja yang telah memiliki fasa *austenite* homogen didinginkan cepat melalui pencelupan ke media tertentu seperti air atau *salt bath*.

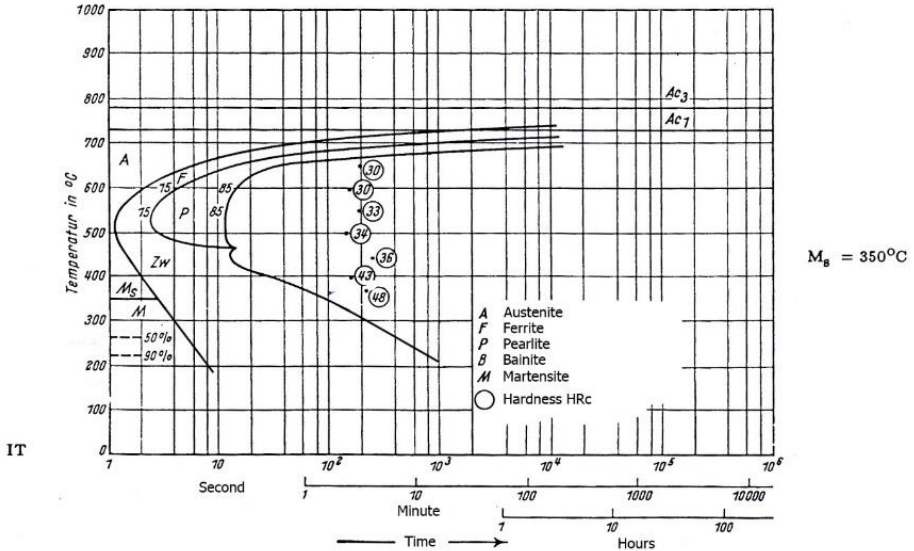


Gambar 2.1 Temperatur pemanasan baja JIS S45C pada diagram Fe – Fe₃C

Baja JIS S45C merupakan baja *hypoeutectoid* dengan temperatur austenisasi 880°C. Akan tetapi austenisasi pada penelitian ini akan dilakukan pada temperatur 900° C untuk mendapatkan ukuran butir struktur mikro yang lebih besar. Pada baja *hypoeutectoid* proses pemanasan cukup dilakukan di atas temperatur kritis bawah. Fasa dari baja *hypoeutectoid* adalah *ferrite* dan *pearlite* yang memiliki sifat cukup lunak. Sementara fasa dari baja *hypoeutectoid* setelah proses *quenching* adalah *tempered martensite* dan *ferrite*. Daerah temperatur pemanasan pada baja JIS S45C dapat dilihat pada gambar 2.1.

Proses *quenching* merupakan proses perlakuan panas non-ekuilibrium. Non-ekuilibrium berarti perlakuan panas ini didinginkan dengan cepat sehingga diagram fasa tidak mampu menggambarkan proses transformasi dari *austenite* menjadi produk transformasi *austenite* (*martensite*, *ferrite*, *pearlite*, dan *bainite*) dapat dilihat pada *Time-Temperatur Transformation (TTT)* diagram. Diagram TTT memperlihatkan pengaruh dari kecepatan pendinginan terhadap produk transformasi *austenite* yang terbentuk. Diagram TTT untuk baja JIS S45C dapat dilihat pada gambar 2.2.

Kecepatan pendinginan yang sangat lambat akan menghasilkan fasa ekuilibrium yaitu *ferrite* dan *pearlite* pada baja *hypoeutectoid*. Sementara untuk mendapatkan fasa *martensite* yang merupakan fasa non-ekuilibrium diperlukan pendinginan dengan laju tertentu. Laju pendinginan minimum yang diperlukan untuk mendapatkan 100% *martensite* disebut dengan *Critical Cooling Rate (CCR)*. Temperatur M_s pada baja JIS S45C jika mengacu pada Diagram TTT dari AISI 1045 sebagai ekivalen dari JIS S45C adalah 350°C.



Gambar 2.2 Diagram TTT pada baja AISI 1045 (ekuivalen dengan JIS S45C) dengan pendinginan isothermal [1].

Diagram TTT dari baja karbon dipengaruhi oleh komposisi kimia penyusun baja, dan ukuran butir dari *austenite* yang terbentuk pada proses pemanasan [2]. Penambahan kadar karbon akan menggeser diagram TTT ke sebelah kanan bawah akibat waktu pembentukan *pearlite* yang lebih panjang, dan temperatur M_s yang lebih rendah. Tingkat kehalusan butir dari *austenite* akan menyebabkan diagram TTT bergeser ke sebelah kiri.

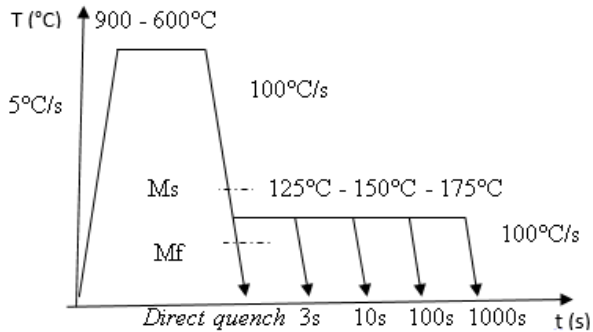
Untuk memperoleh baja karbon rendah dengan fasa 100% *martensite*, diperlukan laju pendinginan yang cepat. Sehingga untuk proses ini sering digunakan media air. Sementara untuk baja karbon tinggi dan baja paduan rendah biasa digunakan media pendingin minyak yang kecepatan

pendinginannya lebih rendah. Hal ini dilakukan karena kedua jenis baja tersebut tidak memerlukan kecepatan pendinginan yang tinggi untuk membentuk fasa 100% *martensite*.

2.2.2 Quenching Partitioning

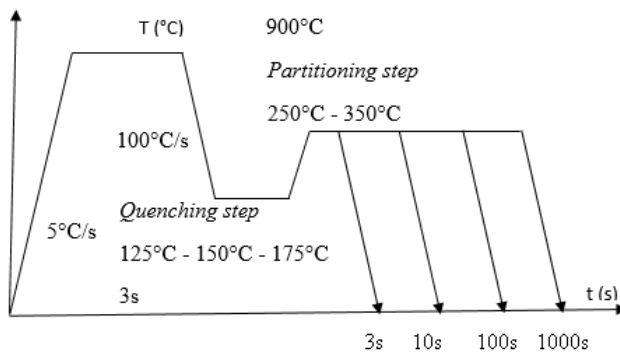
Proses perlakuan panas *quenching partitioning* terdiri dari dua tahap, yaitu proses *quenching* dan dilanjutkan dengan proses *partitioning*. Proses ini merupakan proses perlakuan panas yang merupakan pengembangan dari metode *quenching* konvensional dengan tujuan memperbanyak fraksi *austenite* sisa yang terbentuk serta memperkaya kandungan karbon di dalam *austenite* sisa. Semakin banyak karbon yang terlarut di dalam *austenite* sisa, semakin stabil *austenite* pada suhu kamar. *Austenite* sisa memiliki sifat yang lebih tangguh dan ulet daripada *martensite* maupun *martensit temper* sehingga baja pun menjadi lebih ulet dan tangguh.

Proses *quenching* dan *partitioning* terbagi ke dalam dua jenis yaitu *one step* dan *two step quenching partitioning*. *One step quenching partitioning* adalah proses pendinginan cepat hingga temperatur di antara M_s dan M_f kemudian dilakukan proses penahanan pada temperatur tersebut hingga beberapa saat. Skema *one step quenching partitioning* dapat dilihat di gambar 2.3.



Gambar 2.3. Proses *One Step Quenching Partitioning*

Proses *two step quenching partitioning* adalah proses pendinginan pada temperatur antara M_s dan M_f kemudian dipanaskan kembali pada temperatur tertentu di atas M_s . Skema *two step quenching partitioning* dapat dilihat pada gambar 2.4.



Gambar 2.4. Proses *Two Step Quenching Partitioning*

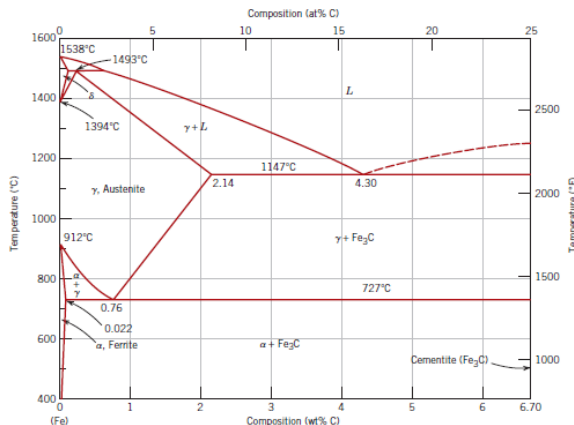
Dalam proses *quenching* biasanya 100% karbon larut ke *martensite*. Hal ini disebabkan temperatur yang terlalu rendah untuk jumlah substansial kelarutan karbon yang terjadi setelah pendinginan. Kelarutan karbon pada proses *quenching*

dianggap lebih besar pada daerah *martensite* sehingga *martensite* yang kaya akan karbon menjadi sangat kuat dan getas dan *austenite* sisa yang kandungan karbonnya sedikit menjadi ulet dan tingkat kekerasan yang rendah.

Proses *partitioning* bertujuan untuk membatasi kelarutan karbon dalam martensit dan memperkaya kandungan karbon di dalam *austenite* sisa, sehingga *austenite* sisa menjadi stabil sampai baja didinginkan pada suhu kamar. Kandungan karbon yang meningkat pada *austenite* sisa akan menyebabkan peningkatan kekerasan dan kekuatan dari baja tetapi masih memiliki keuletan yang cukup tinggi karena sifat *austenite*. Hal ini akan mengurangi perbedaan nilai kekerasan pada daerah *austenite* dan *martensite*. Unsur kimia yang sangat berpengaruh untuk menahan laju kelarutan karbon ke *martensite* adalah silikon dan mangan. Semakin besar persentase kandungan silikon dan mangan maka akan semakin sedikit karbon yang larut dalam *martensite*.

2.3 Fasa dan Struktur Mikro

Baja merupakan logam yang unik karena bersifat *allotropy* yaitu memiliki lebih dari 1 (satu) jenis susunan kristal tergantung dari temperatur baja tersebut. Besi murni akan memiliki susunan kristal *body-centered cubic* (BCC), disebut dengan *ferrite*, pada temperatur kamar hingga temperatur 910°C. Pada temperatur 910°C hingga 1400°C, struktur kristal besi akan bertransformasi menjadi *face-centered cubic* (FCC) yang disebut dengan *austenite*. Pada temperatur 1400°C terjadi perubahan dari FCC menjadi BCC, yang disebut δ -ferrite, sebelum akhirnya besi bertransformasi menjadi *liquid* (cair). Temperatur transformasi dari BCC menjadi FCC dapat berubah sesuai dengan jumlah karbon terlarut pada baja.

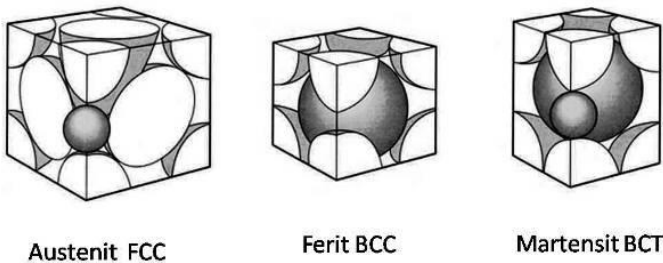


Gambar 2.5 Diagram Fasa Fe – Fe₃C [3]

Proses *quenching* akan menyebabkan terbentuknya fasa *martensite*. Fasa *martensite* tidak terdapat pada diagram *Fe – Fe₃C* karena *martensite* merupakan fasa yang tidak

stabil, dan akan berubah menjadi fasa lain ketika diberi energi. Hal ini disebabkan oleh pembentukan fasa *martensite* yang tidak melalui mekanisme difusi, dan karenanya fasa *martensite* merupakan fasa yang unik dari baja. [4]

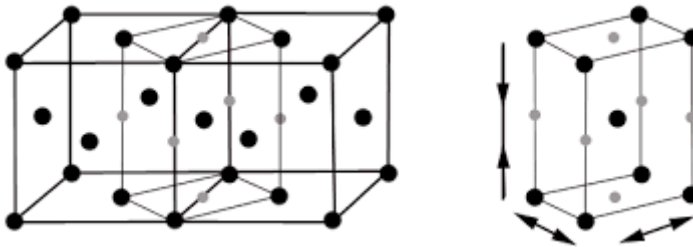
Fasa *martensite* memiliki struktur kristal *body-centered tetragonal* (BCT), yang memiliki bentuk hampir sama dengan BCC. Perbedaan mendasar dari BCC dan BCT adalah pada *lattice pattern* nya. BCC memiliki *lattice pattern* $a = b = c$. Sementara struktur kristal BCT memiliki *lattice pattern* $a \neq c$.



Gambar 2.6. Struktur kristal FCC, BCC, dan BCT

Pembentukan *martensite* diawali dari dekomposisi *austenite*. Fasa *austenite* stabil pada temperatur di atas temperatur kritis atas (A_1). Pada proses pendinginan cepat, fasa *austenite* akan betransformasi menjadi *martensite* ketika mencapai temperatur M_s . Proses pendinginan cepat menyebabkan karbon di dalam *austenite* tidak dapat berdifusi keluar. Hal ini menyebabkan atom karbon terjebak di dalam *martensite*.

Kelarutan karbon di dalam *ferrite* lebih rendah dibandingkan dengan kelarutan karbon di dalam *austenite*. Hal ini menyebabkan karbon yang terjebak dalam *austenite* selama proses memperbesar ukuran *lattice* dari *ferrite*. *Ferrite* dengan struktur kristal BCC tereksansi karena adanya karbon terlarut menjadi struktur kristal BCT yang disebut dengan *martensite*. Ekspansi yang disebabkan oleh karbon menyebabkan tegangan pada salah satu kisi dari struktur kristal sehingga terjadi peningkatan kekerasan pada struktur kristal yang baru.



Gambar 2.7. Perubahan struktur kristal dari FCC menjadi BCT [5]

Jumlah *martensite* yang terbentuk dari *austenite* tidak tergantung terhadap waktu, melainkan terhadap temperatur. Martesite mulai terbentuk pada proses pendinginan cepat ketika temperatur baja mencapai M_s dan semua *austenite* akan bertransformasi menjadi *martensite* ketika mencapai temperatur M_f . Penahanan pada temperatur antara M_s dan M_f tidak akan meningkatkan jumlah *austenite* yang bertransformasi menjadi *martensite*.

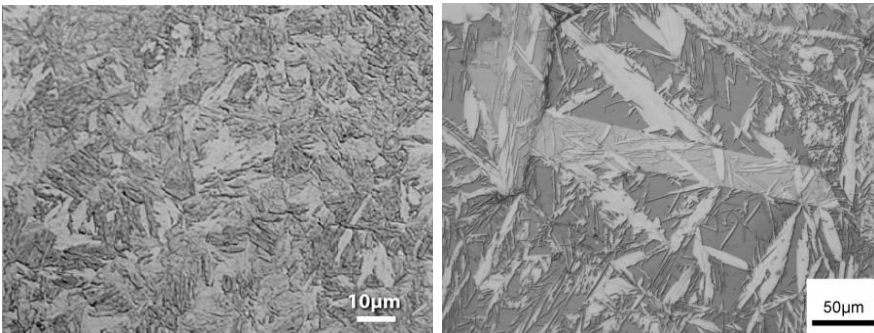
Temperatur M_s dan M_f dipengaruhi oleh komposisi kimia dari baja. Unsur – unsur paduan yang berpengaruh terhadap temperatur M_s dan M_f adalah karbon, nikel, kromium,

dan molybdenum. Semakin banyak unsur-unsur tersebut di dalam baja, maka semakin rendah temperatur M_s dan M_f .

Secara kuantitatif, temperatur M_s dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$M_s (^{\circ}F) = 1000 - (650 \times \%C) - (70 \times \%Mn) - (35 \times \%Ni) - (70 \times \%Cr) - (50 \times \%Mo) [3]$$

Martensite pada baja memiliki 2 jenis struktur, yaitu *lath structure* dan *plate structure*. *Lath structure* dan *plate structure* dapat dilihat pada gambar 2.8.



(a)

(b)

Gambar 2.8. Struktur dari *martensite* a. *Lath Structure*, dan b. *Plate Structure*.

Bentuk struktur dari *martensite* dipengaruhi oleh kadar paduan dari baja. Unsur – unsur paduan yang menyebabkan penurunan temperatur M_s akan memiliki kecenderungan menghasilkan *plate structure*.

Martensite merupakan fasa yang metastabil, atau akan bertransformasi menjadi bentuk yang lebih stabil ketika diberi energy. Ketidakstabilan dari *martensite* disebabkan karena jumlah karbon terlarut yang lewat jenuh (*supersaturated*) pada struktur kristal *martensite*, adanya dislokasi pada *martensite*, dan adanya *austenite* sisa yang tidak stabil pada temperatur kamar. Ketidakstabilan pada *martensite* menyebabkan terjadinya perubahan fasa *martensite* menjadi fasa yang lebih stabil ketika diberi energi.

Pada proses *tempering*, baja hasil *quench* diberi panas, dan mengalami perubahan struktur dari *martensite* menjadi *tempered martensite*. *Tempered martensite* terdiri dari fasa *ferrite* dengan karbon tersebar di dalam butir *ferrite*.

Pada keadaan *quench* fasa lain yang terdapat pada baja adalah *austenite* sisa. *Austenite*, dalam diagram fasa $Fe - Fe_3C$ merupakan fasa pada baja yang stabil pada temperatur tinggi. Bentuk *lattice* dari *austenite* adalah *face-centered cubic* (FCC). Bentuk *lattice* tersebut menyebabkan tingkat kelarutan karbon dalam *austenite* cukup tinggi karena memiliki banyak celah yang dapat disisipi oleh atom karbon [5].

Austenite memiliki keuletan yang baik pada temperatur tinggi. Sifat tersebut dimanfaatkan dalam proses *forming* untuk bentuk peralatan yang rumit.

Pada temperatur kamar *austenite* merupakan fasa yang tidak stabil. Pada diagram fasa $Fe - Fe_3C$, secara ekuilibrium *austenite* akan berubah menjadi *ferrite* dan cementite pada temperatur di bawah A1. Hal ini berkebalikan pada baja hasil *quench*, dimana ditemukan *austenite* pada temperatur kamar.

Proses *quench* menyebabkan karbon di dalam *austenite* tidak dapat berdifusi. Fenomena ini menyebabkan

proses terbentuknya *martensite*. Proses terbentuknya *martensite* memerlukan tegangan geser untuk membentuk struktur kristalnya. Dimana tegangan geser diperoleh dari proses pendinginan yang cepat. Proses untuk mengubah seluruh *austenite* menjadi *martensite* memerlukan tegangan geser yang sangat besar, dan proses pendinginan yang cepat tidak menyediakan tegangan geser yang cukup. Hal ini menyebabkan terdapat *austenite* sisa pada struktur mikro baja hasil *quench*. *Austenite* sisa memiliki sifat yang lebih lunak dibandingkan *martensite*.

2.4 Studi yang Pernah Dilakukan Sebelumnya

Proses *quenching partitioning* sudah dilakukan oleh beberapa ahli, diantaranya :

1. J. Speer, D.K. Matlock, B.C. De Cooman dan JG. Schroth pada tahun 2003 dengan judul jurnal *Carbon Partitioning into Austenite After Martensite Transformation*. Dengan hasil penelitian berupa konsentrasi kelarutan karbon dalam *ferrite* dan *austenite* pada beberapa baja paduan dengan kadar karbon 0,25%, 0,5%, dan 1% dengan kesimpulan bahwa semakin rendah temperatur *partitioning* maka semakin banyak kandungan karbon dalam *austenite* dan semakin tinggi temperatur *partitioning* semakin tinggi pula kandungan karbon dalam *ferrite* [6].

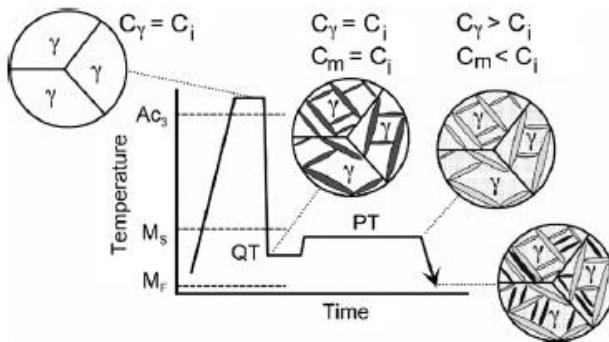
2. J. Speer, D.K. Matlock, B.C. De Cooman dan JG. Schroth pada tahun 2005 dengan judul jurnal *The "Quenching and Partitioning" Process: Background and Recent Progress*. Pada penelitian ini dilakukan pada material grade 9260 bar steel melakukan variasi temperatur *quenching* dan *partitioning* dan waktu penahanan. Kesimpulan pada penelitian ini adalah sangat optimal untuk struktur mikro dan sifat mekanik pada

temperatur *quench* 150°C dan temperatur 220°C dengan waktu penahanan 3600 detik [5].

Skema proses perlakuan panas *quenching* dan *partitioning* dapat dilihat pada gambar 2.9. [7]. Proses perlakuan panas ini hampir sama dengan proses perlakuan panas *quenching* dan *tempering* hanya saja struktur mikro yang dihasilkan adalah *martensite* dan *retained austenite* setelah didinginkan cepat. Setelah itu baja dipanaskan kembali hingga temperatur *partitioning* dimana karbon akan berdifusi dari *martensite* menuju *retained austenite*.

Proses *partitioning* ini mempunyai tujuan untuk membatasi kelarutan karbon dalam *martensite* dan memperkaya kandungan karbon *retained austenite*. Akibat dari naiknya kadar karbon pada *retained austenite* maka akan menurunkan temperatur *martensite start* (M_s) pada pendinginan selanjutnya sehingga *retained austenite* akan stabil pada temperatur kamar. *Martensite* yang terbentuk setelah *quenching* adalah larutan pada lewat jenuh dari karbon yang terperangkap dalam struktur besi *body-centered tetragonal* (BCT). Struktur ini mempunyai tegangan dalam yang tinggi sehingga kekerasannya akan tinggi pula. Di samping itu *martensite* merupakan struktur yang metastabil, dimana pada pemanasan *partitioning* akan mengeluarkan karbon yang berdifusi menuju *retained austenite*. Berkurangnya kadar karbon ini membuat tegangan dalam pada *martensite* akan berkurang sehingga kekerasannya akan menurun.

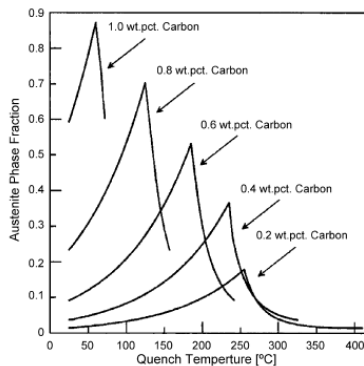
Retained austenite akan bertransformasi menjadi *ferrite* dan *cementite* apabila mengalami proses *partitioning* pada temperatur 180°C hingga 225°C selama 1000 detik. Hal tersebut akan menyebabkan jumlah *retained austenite* yang stabil pada temperatur kamar berkurang. Pada proses *partitioning* di atas temperatur M_s proses *partitioning* dilakukan sedemikian rupa dengan waktu tertentu agar *bainite* tidak terbentuk.



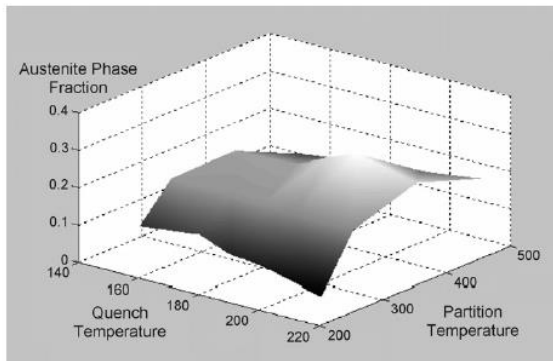
Gambar 2.9. Skema proses *quenching* dan *partitioning* [8]. (C_i menunjukkan kadar karbon dari paduan, C_γ menunjukkan kadar karbon pada *austenite*, dan C_m menunjukkan kadar karbon pada *martensite*. Sedangkan QT adalah temperatur *quenching* dan PT adalah temperatur *partitioning*).

Jumlah relatif *martensite* dan *retained austenite* setelah proses *quenching* dan *partitioning* dapat diprediksi berdasarkan hubungan Koistinen-Marburger [8]. Model pendekatan ini dilakukan dengan mengasumsikan pada temperatur *quenching* karbon yang berdifusi dari *martensite* sepenuhnya menuju *retained austenite* tanpa ada yang membentuk karbida.

Gambar 2.9 menunjukkan prediksi jumlah *retained austenite* fungsi temperatur *quenching*, dimana terdapat temperatur *quenching* yang optimal untuk mendapatkan jumlah maksimum *retained austenite*. Jika temperatur *quenching* lebih besar dari temperatur optimal, maka sedikit *martensite* yang terbentuk dan banyak *retained austenite* yang terbentuk tetapi pada saat dilakukan pendinginan dari temperatur *partitioning*, sebagian besar *retained austenite* akan bertransformasi menjadi *martensite* baru. Sedangkan jika temperatur *quenching* lebih kecil dari temperatur optimal maka banyak *martensite* yang terbentuk dan sedikit *retained austenite* yang terbentuk, karena pada saat *partitioning*, *martensite* yang sudah terbentuk tidak dapat bertransformasi menjadi *austenite* sehingga jumlah *austenite* akhir tidak ada perubahan. Gambar 2.14 juga menunjukkan bagaimana model pendekatan ini memprediksi peningkatan jumlah *retained austenite* seiring dengan meningkatnya kadar karbon pada paduan [7].



Gambar 2.10. Prediksi fraksi *retained austenite* setelah *partitioning* fungsi temperatur *quenching* untuk kadar karbon yang berbeda [7]



Gambar 2.11. Variasi fraksi *retained austenite* fungsi temperatur *quenching* dan temperatur *partitioning* [6].

Tidak hanya *quenching* yang memiliki temperatur optimal tetapi *partitioning* juga memiliki temperatur optimal untuk menghasilkan fraksi fasa *retained austenite* maksimum.

Keluarnya karbon dari *martensite* menuju *retained austenite* selama proses *partitioning* merupakan tahapan kritis dalam proses *quenching partitioning*, karena kecepatan difusi proses ini harus lebih besar daripada kecepatan pembentukan karbida sehingga karbida tidak terbentuk pada proses ini.

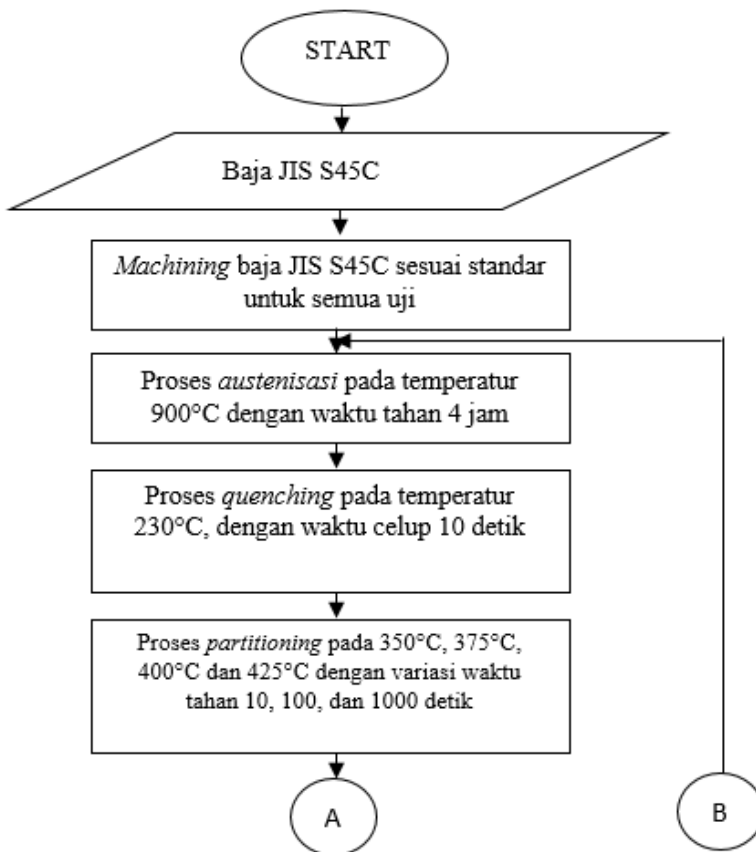
Halaman ini sengaja dikosongkan

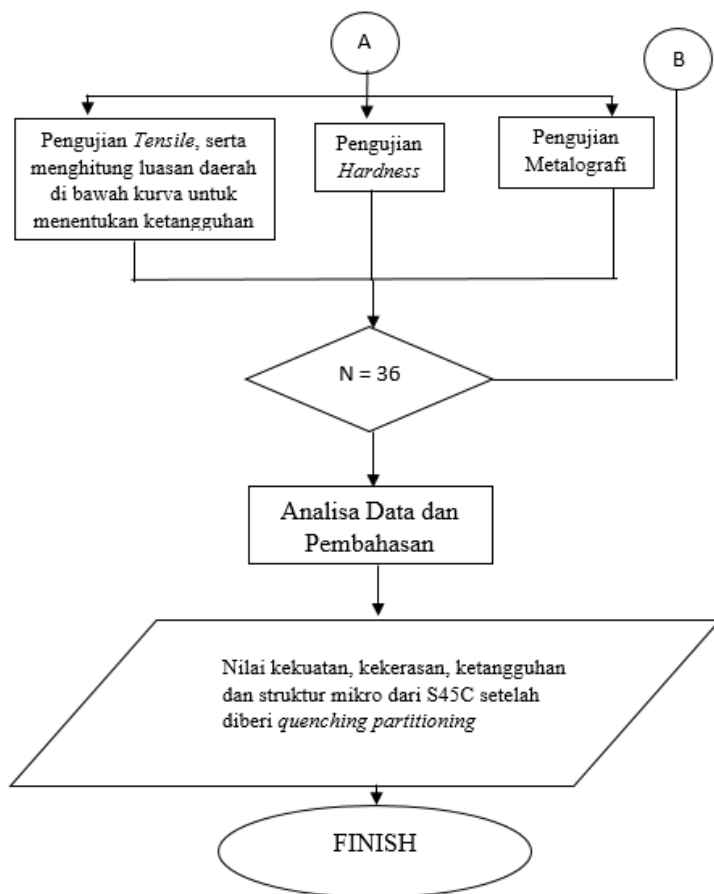
BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

Prosedur penelitian yang dilaksanakan pada penelitian ini dapat dilihat secara sistematis pada gambar 3.1.



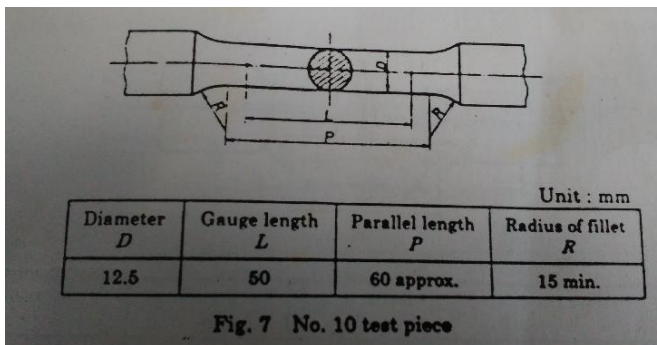


Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.2 Material

Material yang digunakan pada penelitian ini adalah baja JIS S45C dengan komposisi kimia 0,42–0,45% C, 0.15% – 0.35% Si, 0,6-0,9% Mn, 0,03% P (max), dan 0,03% S (max). Material ini didapatkan dari *supplier* kemudian dilakukan proses pengerjaan untuk mendapatkan bentuk dan dimensi yang diinginkan.

Spesimen uji tarik dibuat dengan mengacu kepada JIS Z 2201. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 3.2.1.



Gambar 3.2.1. Spesimen Uji Tarik

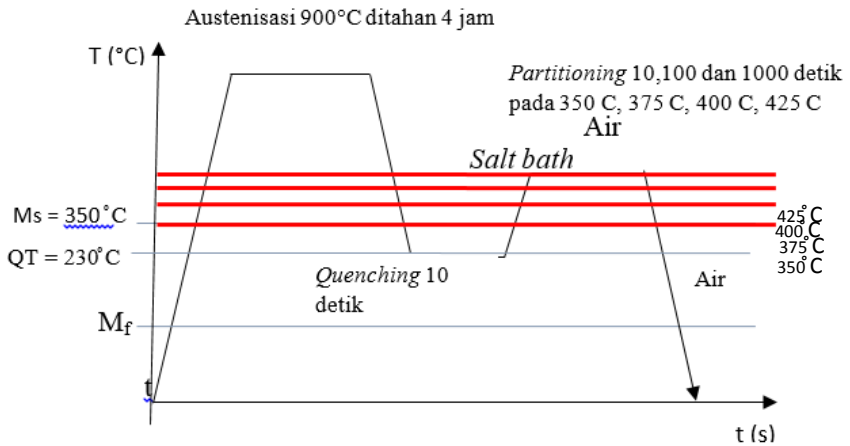
Sementara itu, spesimen pengujian *hardness* didapatkan dengan memotong pegangan dari spesimen uji tarik. Setelah spesimen dipotong, dilakukan *grinding* dan *polishing* pada permukaan yang akan diuji *hardness*.

3.3 Proses Perlakuan Panas *Quenching Partitioning*

Proses perlakuan panas *quenching partitioning* dimulai dengan pemanasan dalam dapur sampai temperatur austenisasi 900°C selama 1 jam. Kemudian dilakukan *quenching* pada spesimen dengan media air. Berikutnya, proses *partitioning* dilakukan di dalam cairan *Salt bath*. *Salt bath* yang digunakan disini merupakan campuran dari KNO_3 , NaNO_3 , dan NaNO_2 dengan perbandingan komposisi 5 : 3 : 2 [9]. *Quenching* dilakukan pada temperatur 230°C dengan waktu tahan 10 detik. Setelah itu spesimen dicelupkan ke dalam *salt bath* dengan temperatur *partitioning* yang juga bervariasi, yaitu 350°C, 375°C, 400°C, dan 425°C dengan waktu tahan 10, 100, dan 1000 detik. Media pendingin setelah proses *partitioning* adalah air.

Pemilihan temperatur austenisasi dilakukan dengan perhitungan menggunakan persamaan pada buku *Introduction to Physical Metallurgy* [3] dan waktu tahan austenisasi berdasarkan standar ASM. Pemilihan temperatur *quenching* dan *partitioning* dilakukan sedemikian rupa untuk mendapatkan variasi dengan fraksi *austenite* maksimum. Pemilihan waktu tahan *quenching* merupakan hasil dari *trial and error* dari tim dan pilihan media pendingin air didasarkan dari penelitian sebelumnya dengan tujuan agar pendinginan yang dilakukan dapat berjalan dengan cepat.

Skema proses perlakuan panas *quenching* dan *partitioning* dapat dilihat pada gambar 3.3. Struktur mikro hasil proses perlakuan panas *quenching* dan *partitioning* diharapkan adalah *tempered martensite* dan *retained austenite*.



Gambar 3.3. Skema Penelitian

3.4 Peralatan yang Digunakan

Dalam penelitian ini terdapat beberapa peralatan yang digunakan, yaitu :

1. Dapur Pemanas (*furnace*) austenisasi
Dapur pemanas (*furnace*) austenisasi yang digunakan pada penelitian ini adalah dapur milik Laboratorium Metalurgi Jurusan Teknik Mesin ITS dengan spesifikasi sebagai berikut :

Nama : Nabertherm B-150
Produksi : Nabertherm Corp.
Dimensi : Panjang 37 cm, lebar 23.5 cm,
tinggi 21 cm
Voltage : 240 Volt
Arus : 35 Ampere
Frekuensi : 50/60 Hz
Phase : 3 fasa



Gambar 3.4.1 *Furnace* Nabertherm

2. Dapur *Partitioning*

Dapur *partitioning* merupakan mesin *furnace* buatan PT. Mandiri Teknik dengan kapasitas pemanasan maksimum sampai 1200 °C.



Gambar 3.4.2 Dapur *partitioning*

3. *Salt bath*

Salt bath yang digunakan disini merupakan campuran dari KNO_3 , NaNO_3 , dan NaNO_2 dengan perbandingan komposisi 5 : 3 : 2 [9]

4. Peralatan Potong

Peralatan yang digunakan untuk pembentukan spesimen uji *tensile*, *impact* dan *hardness* antara lain adalah mesin bubut, gerinda tangan, dan *cutting wheel*. Semua peralatan yang digunakan adalah milik Laboratorium Metalurgi Jurusan Teknik Mesin ITS Surabaya.

5. Peralatan Uji

Pada penelitian ini terdapat tiga uji yang dilakukan. Yaitu uji *tensile*, uji *hardness* dan uji metalografi. Setiap pengujian memiliki peralatan masing – masing.

Uji Tarik dilakukan di Teknik Sipil ITS. Sedangkan uji *hardness* dan uji metalografi dilakukan menggunakan mesin uji milik Lab Metalurgi Jurusan Teknik Mesin ITS.

3.5. Langkah-Langkah Pengujian

3.5.1. Proses *Quenching Partitioning*

Proses *quenching partitioning* dari material JIS S45C dilakukan dengan langkah – langkah berikut :

- a. Spesimen dibersihkan dari kotoran, karat dan minyak yang menempel.
- b. Spesimen dimasukkan ke dalam *furnace*, kemudian dipanaskan sampai temperatur 900°C dan ditahan selama 4 jam untuk memastikan seluruh bagian dari spesimen terkena perlakuan panas secara merata.
- c. Setelah waktu *holding time* terpenuhi maka spesimen dicelupkan ke dalam air untuk proses *quenching* sampai temperatur 230°C selama 10 detik.
- d. Setelah itu dilakukan proses *partitioning* pada spesimen, dengan cara memanaskan spesimen pada media *salt bath* hingga temperatur 350°C, 375°C, 400°C, dan 425°C dengan waktu tahan 10, 100, dan 1000 detik. Setelah proses *partitioning* selesai, spesimen dicelupkan ke dalam air hingga spesimen mencapai temperatur ruangan.

3.5.2. Proses Pengujian *Tensile*

Pengujian *tensile* dari material JIS S45C dilakukan dengan langkah – langkah berikut

- a. Diukur dimensi spesimen yang sudah diberi perlakuan panas. Dimensi yang diukur meliputi panjang awal spesimen (L_0), luas awal (A_0) dan diameter awal *gauge*.
- b. Area *gauge length* dari spesimen ditentukan dan ditandai. *Gauge length* ditentukan dengan menarik garis sepanjang 25 mm dari titik tengah spesimen ke atas dan ke bawah. Sehingga yang didapatkan adalah sebuah area sepanjang 50 mm. Titik *gauge length* ditandai dengan spidol permanen.
- c. Setelah *gauge length* ditandai, spesimen dijepitkan di mesin uji tarik. Penjepitan harus dilakukan dengan baik untuk memastikan tidak ada *slip* yang terjadi saat pembebanan. Milimeter blok dan spidol dipasang pada mesin uji tarik sebagai tempat menggambar grafik uji tarik.
- d. Mesin uji tarik dihidupkan. Pembebanan diberikan pada spesimen. Selama pembebanan diperhatikan perubahan yang terjadi pada spesimen yang meliputi : besarnya beban (P) saat *yield*, perpanjangan saat *yield*, beban maksimum, perpanjangan saat beban maksimum, beban saat *fracture*, dan perpanjangan saat *fracture*.
- e. Setelah spesimen mengalami *fracture*, spesimen dilepaskan dari mesin uji tarik.
- f. Kedua bagian spesimen yang patah disatukan kembali, dan diukur dimensinya (panjang akhir, *gauge length* setelah *fracture*, diameter akhir, luas

spesimen akhir, *yield strength*, *elongation*, dan *reduction area*.

3.5.3. Proses Pengujian *Hardness*

Pengujian *hardness* dari material JIS S45C dilakukan dengan menggunakan metode *Rockwell C Hardness test*. Metode ini dilakukan dengan langkah – langkah berikut :

- a. Spesimen yang telah diberi perlakuan panas dibersihkan permukaannya.
- b. Indentor dipasang pada dudukan *indentor*. Kemudian dudukan *indentor* dipasang pada mesin uji.
- c. Beban sebesar 30 kP diatur pada mesin
- d. Meja mesin dinaikkan dengan memutar *handwheel* sehingga nilai penetrasi *indentor* ke spesimen menunjukkan angka 3 pada jarum penunjuk skala kecil. Pada kondisi ini, beban mula – mula adalah 10kgf.
- e. *Handle* diputar untuk proses indentasi dengan pembebanan penuh.
- f. Setelah *handle* tidak bergerak lagi, putar kembali *handle* ke posisi semula.
- g. Spesimen dilepas dari mesin uji.
- h. Dimensi tapak tekan diukur menggunakan *loupe* pengukur.

3.6. Tabel Perencanaan Pengujian

Berikut ini adalah tabel data pengujian yang akan digunakan untuk pengambilan data penelitian ini.

3.6.1 Tabel *Tensile Test*

No.	PT (°C)	HT (°C)	YS (Mpa)	UTS (Mpa)
1	350	10		
		100		
		1000		
2	375	10		
		100		
		1000		
3	400	10		
		100		
		1000		
4	425	10		
		100		
		1000		

Label	Ptemp	<i>Partitioning Time</i>	<i>Avg. Reduction area</i>	<i>Avg. Elongation</i>	<i>Avg. Toughness</i>
41	350	10			
42		100			
43		1000			
51	375	10			
52		100			
53		1000			
61	400	10			
62		100			
63		1000			
71	425	10			
72		100			
73		1000			

3.6.2 Tabel *Hardness Test*

No.	Temperatur <i>Partitioning</i> (°C)	Waktu Penahanan (sekon)	Label	Nilai Kekerasan (HRC)
1.	350	10	41	
		100	42	
		1000	43	
2.	375	10	51	
		100	52	
		1000	53	
3.	400	10	61	
		100	62	
		1000	63	
4.	425	10	71	
		100	72	
		1000	73	

BAB IV

ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

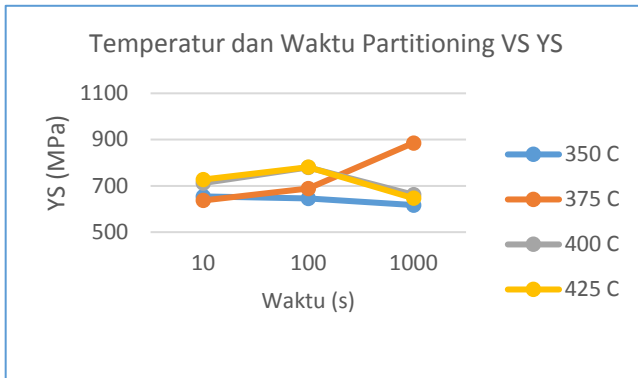
4.1 Data Hasil Pengujian

4.1.1 Uji Tarik

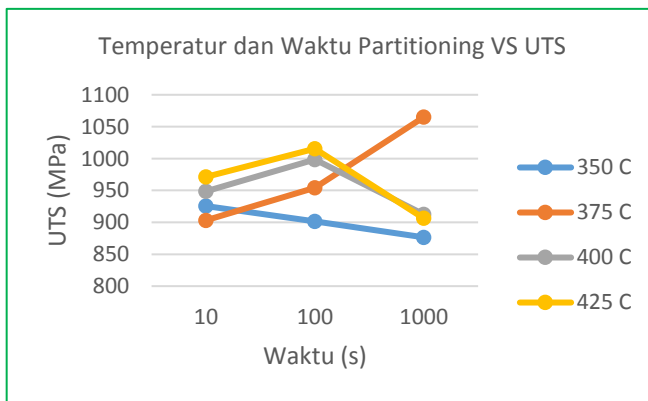
Data pertama adalah hasil dari uji tarik spesimen dengan berbagai variasi temperatur dan waktu *partitioning*. Uji tarik dilakukan untuk mengetahui sifat mekanik yang terbentuk dari perlakuan panas. Data uji tarik ini akan dibandingkan dengan hasil uji metalografi untuk melihat pengaruh struktur mikro yang terbentuk terhadap sifat mekanik baja, Berikut adalah hasil uji tarik baja JIS S45C dengan berbagai variasi temperatur pada *martensite start* dan di atas *martensite start*, serta lama waktu penahanan *partitioning*.

Tabel 4.1 Hasil Pengujian Tarik Spesimen Perlakuan Panas

No.	PT (°C)	HT (°C)	YS (Mpa)	UTS (Mpa)
1	<i>As received</i>	-	401,32	711,43
2	<i>As quenched</i>	-	1459,59	1548,95
3	350	10	654,51	925,51
		100	646,23	901,28
		1000	617,11	876,53
4	375	10	637,04	903,24
		100	687,96	954,26
		1000	885,66	1064,91
5	400	10	711,93	948,62
		100	779,85	998,52
		1000	661,87	912,60
6	425	10	727,91	971,28
		100	780,81	1015,46
		1000	646,53	906,35



Gambar 4.1. Grafik *Yield Strength* Terhadap Variasi Temperatur dan Waktu Penahanan *Partitioning*



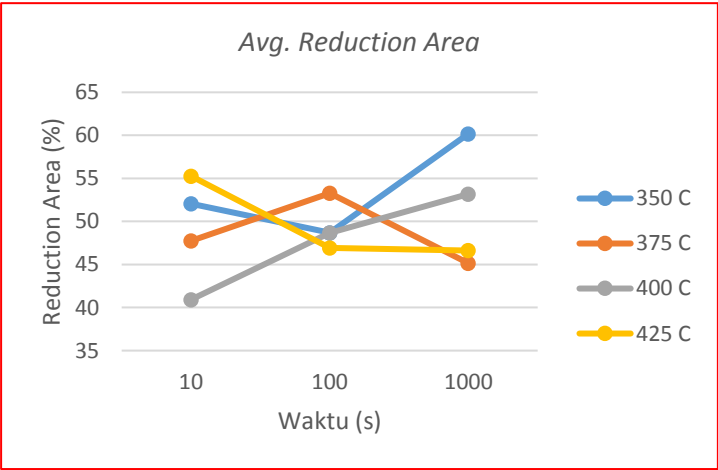
Gambar 4.2. Grafik *Ultimate Tensile Strength* Terhadap Variasi Waktu dan Temperatur *Partitioning*

Pengujian tarik menghasilkan grafik *stress-strain* baja JIS S45C hasil perlakuan panas. Dari grafik tersebut diperoleh *Yield Strength* dan *Ultimate Tensile Strength* yang

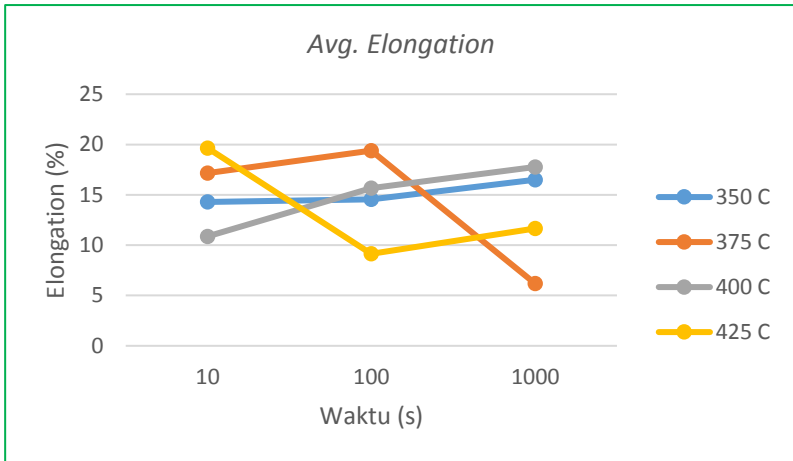
diperlihatkan pada tabel 4.1 di atas. Setiap variasi dilakukan repetisi sebanyak dua kali sehingga total spesimen untuk satu variasi yaitu tiga spesimen, kemudian hasil uji tarik ketiga spesimen tersebut dirata-rata dan dibuatkan grafik 4.1 *Yield Strength* vs Temperatur *Partitioning* dan grafik 4.2 *Ultimate Tensile Strength* vs Temperatur *Partitioning*. Kedua grafik tersebut memiliki *trendline* grafik yang hampir sama. Kekuatan tertinggi untuk masing-masing variasi waktu penahanan yaitu pada temperatur 425 °C kemudian berangsur turun hingga temperatur 350 °C. Spesimen dengan variasi temperatur 350°C memiliki kekuatan terendah pada ketiga variasi penahanan. Satu hal yang menarik adalah spesimen dengan variasi temperatur 375 °C dan waktu penahanan 1000 s memiliki kekuatan tarik yang sangat tinggi dibandingkan spesimen dengan variasi lain.

Tabel 4.2 Data *Reduction Area*, *Elongation* dan *Toughness* Spesimen JIS S45C Setelah *Quenching Partitioning*

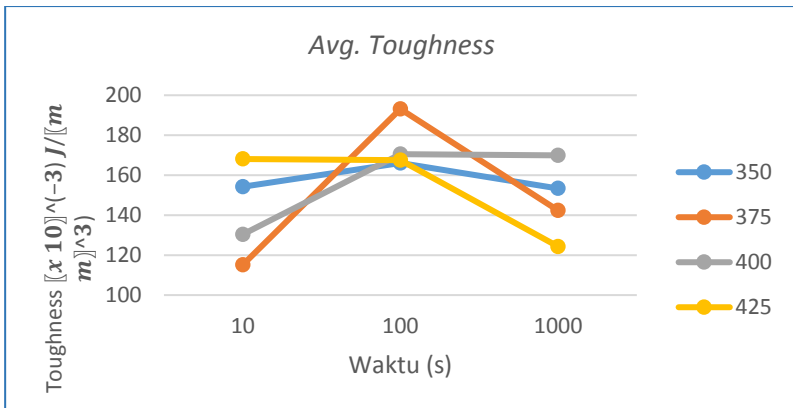
Label	Ptemp (°C)	Partitioning Time (s)	Avg. Reduction Area (%)	Avg. Elongation (%)	Avg. Toughness ($\times 10^{-3} \text{ J/mm}^3$)
	<i>As received</i>	-		22,87	204,7982065
	<i>As quenched</i>	-		4,47	73,71
41	350	10	52,07	14,29	154,26
42		100	48,69	14,55	166,10
43		1000	60,18	16,50	153,35
51	375	10	47,73	17,16	115,14
52		100	53,28	19,40	193,14
53		1000	45,15	6,19	142,30
61	400	10	40,92	10,87	130,36
62		100	48,68	15,67	170,51
63		1000	53,18	17,77	169,93
71	425	10	55,27	19,65	168,08
72		100	46,93	9,14	167,52
73		1000	46,62	11,65	124,33



(a)



(b)



(c)

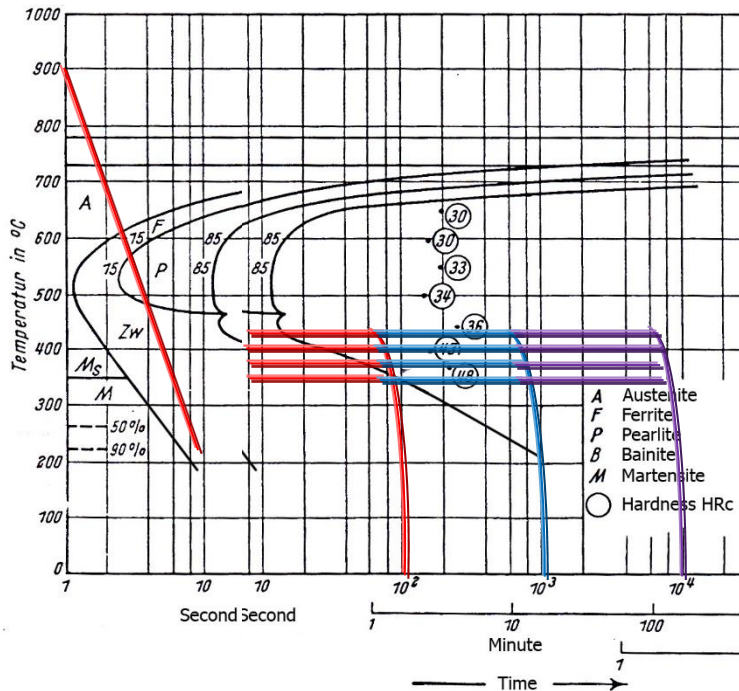
Gambar 4.3 (a). Grafik *Reduction Area* terhadap variasi waktu dan temperatur *partitioning* (b). Grafik *Elongation* terhadap variasi waktu dan temperatur *partitioning* (c.) Grafik *Toughness* terhadap variasi waktu dan temperatur *partitioning*

Pengujian tarik juga menghasilkan nilai ketangguhan, *reduction area*, dan nilai pertambahan panjang. Dari grafik pengujian tarik **4.3 (a)** dapat dilihat bahwa nilai *reduction area* seluruh spesimen berkisar antara 40%-60%. Nilai *reduction area* tertinggi terdapat pada spesimen dengan temperatur *partitioning* 425 °C dengan waktu penahanan 10 s yaitu sebesar 55,27%. Sementara nilai *reduction area* terkecil terdapat pada spesimen dengan temperatur *partitioning* 400 °C dengan waktu penahanan 10 s yaitu sebesar 40,92%.

Dari grafik pengujian tarik **4.3 (b)** dapat dilihat bahwa nilai pertambahan panjang seluruh spesimen berkisar antara 6%-19%. Nilai pertambahan panjang terbesar terdapat pada spesimen dengan temperatur *partitioning* 425 °C dengan waktu penahanan 10 s yaitu sebesar 19,65%. Sementara nilai pertambahan panjang terkecil terdapat pada spesimen dengan temperatur *partitioning* 375 °C dengan waktu penahanan 1000 s yaitu sebesar 6,19%.

Perhitungan ketangguhan didapatkan dengan metode luasan trapezium menggunakan grafik *stress-strain*. Dimana nilai *strain* sebagai tinggi trapezium dan nilai *stress* sebagai sisi sejajar trapezium sehingga didapatkan data pada grafik **4.3 (c)**. Dari grafik pengujian tarik **4.3 (c)** dapat dilihat bahwa nilai ketangguhan seluruh spesimen berkisar antara 115 J/mm^3 – 193 J/mm^3 . Nilai ketangguhan terbesar terdapat pada spesimen dengan temperatur *partitioning* 375 °C dengan waktu penahanan 100 s yaitu sebesar 193,14 J/mm^3 . Sementara nilai ketangguhan terkecil terdapat pada spesimen dengan temperatur *partitioning* 375 °C dengan waktu penahanan 10 s yaitu sebesar 115,14 J/mm^3 .

4.1.2 Uji Kekerasan



Gambar 4.4 Grafik IT AISI 1045 [1]

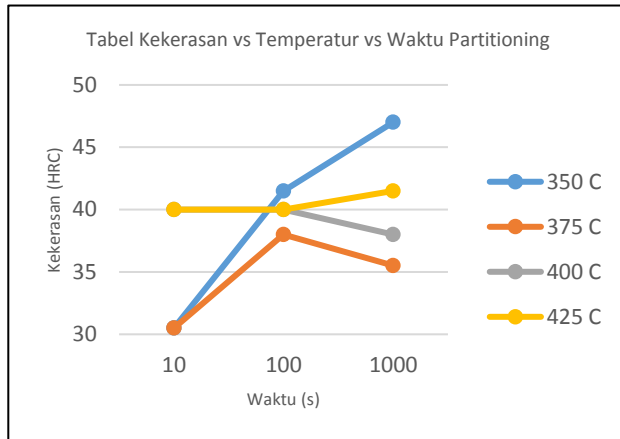
Dari grafik IT dapat diperkirakan struktur mikro yang akan terbentuk setelah proses perlakuan panas. Dimulai dari titik awal 900 C sampai titik kedua pada suhu 230 C dengan waktu 10 detik. Pada titik ini, fasa yang sudah terbentuk adalah 15% *ferrite*, 18% *pearlite* dan 67% *austenite*. Setelah *quenching* sampai suhu 230°C, 70% dari 67% *austenite* berubah menjadi *martensite* sehingga didapatkan struktur yang terdiri dari 15% *ferrite*, 18% *pearlite*, 46,9% *martensite* dan 20,1% *austenite*.

Selanjutnya 20,1% *austenite* dapat bertransformasi menjadi *martensite*, *lower bainite*, atau *upper bainite* berdasarkan variasi temperature yang diberikan. Sedangkan *martensite* awal akan bertransformasi menjadi *tempered martensite*. Secara teoritis, jika *austenite* bertransformasi menjadi *martensite* akan diperoleh nilai kekerasan sebesar 46 HRC. Hal ini juga berlaku jika *austenite* bertransformasi menjadi *lower bainite*. Sedangkan jika *austenite* bertransformasi menjadi *upper bainite* maka kekerasannya akan menjadi 40 HRC.

Dari pengujian kekerasan diperoleh nilai kekerasan (HRC) spesimen perlakuan panas yang dapat dilihat pada tabel 4.3 berikut

Tabel 4.3 Tabel Hasil Pengujian Kekerasan Spesimen

No.	PT (°C)	Time (s)	Label	Nilai Kekerasan (HRC)		
				1	2	Rata rata
1	<i>As received</i>	-	-	30	32	31
2	<i>As quenched</i>	-	-	49	50	49,5
3	350	10	41	29	32	30,5
		100	42	35	48	41,5
		1000	43	46	48	47
4	375	10	51	37	24	30,5
		100	52	38	38	38
		1000	53	34	37	35,5
5.	400	10	61	41	39	40
		100	62	43	37	40
		1000	63	37	39	38
4.	425	10	71	37	43	40
		100	72	42	38	40
		1000	73	38	45	41,5



Gambar 4.5 Grafik nilai kekerasan terhadap Temperatur dan Waktu *Partitioning*

Dari grafik kekerasan Gambar 4.5 dapat dilihat bahwa nilai kekerasan terbesar terdapat pada spesimen dengan temperatur *partitioning* 350°C dengan waktu penahanan 100 s yaitu sebesar 47 HRC. Sementara nilai kekerasan terkecil terdapat pada spesimen temperatur *partitioning* 350°C dengan waktu penahanan 10 s dan 375°C dan waktu penahanan 10 s yaitu sebesar 30,5 HRC.

4.2 Uji Statistik

Uji statistik pada penelitian ini adalah uji *Two Way Anova* faktorial untuk melihat apakah perubahan waktu dan temperatur memiliki pengaruh spesifik terhadap nilai UTS, pertambahan panjang, *reduction area*, dan kekerasan.

Pada uji ini, waktu dan temperature merupakan variabel sedangkan nilai UTS, pertambahan panjang, *reduction area*, dan kekerasan merupakan respon. Uji *Two Way Anova* faktorial dilakukan untuk mendapatkan *p-value* dari sekelompok data. Selanjutnya nilai *p-value* ini akan dibandingkan dengan nilai α untuk mendapatkan hipotesis statistik dari data tersebut. Nilai α didapatkan dari *confidence level*. *Confidence level* yang digunakan pada uji ini adalah sebesar 95%. Sehingga nilai $\alpha = 100\% - 95\% = 5\%$ (0,05). Jika nilai $p > \alpha$ maka hipotesa awal (H_0) diterima. Dan sebaliknya jika $p < \alpha$ maka hipotesa awal (H_0) ditolak.

Terdapat tiga hipotesa berbeda pada uji statistik ini, yaitu **hipotesis perubahan temperatur** untuk melihat pengaruh perubahan temperatur *partitioning* terhadap data, **hipotesis perubahan waktu** untuk melihat pengaruh perubahan waktu *partitioning* terhadap data, dan **hipotesis interaksi waktu dan temperatur** untuk melihat pengaruh interaksi waktu dan temperatur *partitioning* terhadap data yang dihasilkan. Untuk tiap hipotesis, H_0 menyatakan “**tidak ada pengaruh perubahan temperature/waktu/interaksi waktu dan temperatur terhadap data**” sedangkan H_1 menyatakan bahwa “**minimal terdapat sepasang temperature/waktu/interaksi waktu dan temperatur yang berpengaruh terhadap data**”. Tabel-tabel di bawah merupakan hasil uji *Two Way Anova* untuk tiap kelompok data. *P-Value* ditunjukkan pada kolom “Sig.” di tabel.

4.2.1 Uji Statistik *Ultimate Tensile Strength*

Tabel 4.4 Tabel Uji Statistik *Two Way Anova* Faktorial UTS

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable : UTS

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Model	32470364,102 ^a	12	2705863,675	399,050	0,000
Temperatur	28594,541	3	9531,514	1,406	0,265
Time	6664,403	2	3332,201	,491	0,618
Temperatur * Time	67159,436	6	11193,239	1,651	0,177
Error	162738,338	24	6780,764		
Total	32633102,441	36			

Dari data di atas dapat dilihat bahwa nilai *p-value* untuk waktu dan temperature, serta interaksi waktu dan temperatur lebih besar dari 0,05. Sehingga dipastikan bahwa hasil uji menerima H_0 . Maka dapat disimpulkan bahwa perubahan waktu, temperatur, maupun interaksi di antara keduanya **tidak memberikan pengaruh spesifik terhadap nilai UTS**.

4.2.2 Uji Statistik Ketangguhan

Tabel 4.5 Tabel Uji Statistik *Two Way Anova* Faktorial Ketangguhan

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable : Toughness

<i>Source</i>	<i>Type III Sum of Squares</i>	<i>df</i>	<i>Mean Square</i>	<i>F</i>	<i>Sig.</i>
<i>Model</i>	872502,720 ^a	12	72708,560	70,757	0,000
<i>Temperatur</i>	390,999	3	130,333	,127	0,943
<i>Time</i>	6835,474	2	3417,737	3,326	0,053
<i>Temperatur * Time</i>	9443,223	6	1573,871	1,532	0,211
<i>Error</i>	24661,811	24	1027,575		
<i>Total</i>	897164,531	36			

Dari data di atas dapat dilihat bahwa nilai *p-value* untuk waktu dan temperature, serta interaksi waktu dan temperatur lebih besar dari 0,05. Sehingga dipastikan bahwa hasil uji menerima H_0 . Maka dapat disimpulkan bahwa perubahan waktu, temperatur, maupun interaksi di antara keduanya **tidak memberikan pengaruh spesifik terhadap nilai ketangguhan.**

4.2.3 Uji Statistik Pertambahan Panjang

Tabel 4.5 Tabel Uji Statistik *Two Way Anova* Faktorial Pertambahan Panjang

Tests of Between-Subjects Effects

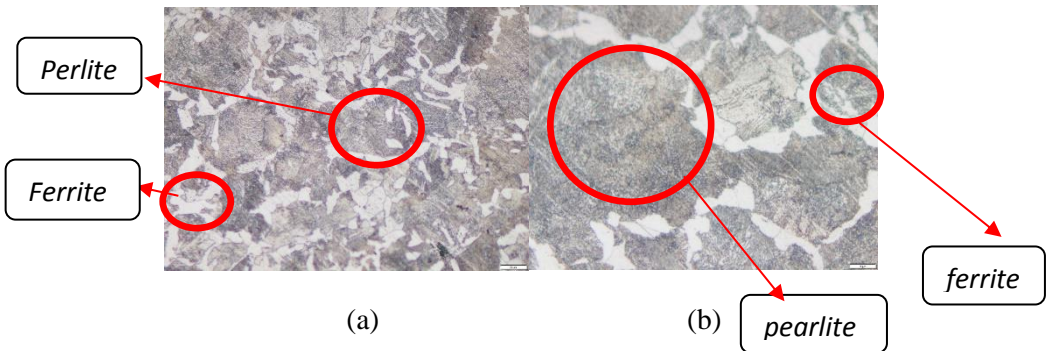
Dependent Variable: Elongation

<i>Source</i>	<i>Type III Sum of Squares</i>	<i>df</i>	<i>Mean Square</i>	<i>F</i>	<i>Sig.</i>
<i>Model</i>	8058,002 ^a	12	671,500	37,628	0,000
<i>Temperatur</i>	7,014	3	2,338	,131	0,941
<i>Time</i>	41,866	2	20,933	1,173	0,327
<i>Temperatur * Time</i>	409,315	6	68,219	3,823	0,008
<i>Error</i>	428,299	24	17,846		
<i>Total</i>	8486,301	36			

Dari data di atas dapat dilihat bahwa nilai *p-value* untuk waktu dan temperature lebih besar dari 0,05. Sehingga dipastikan bahwa hasil uji menerima H_0 . Maka dapat disimpulkan bahwa perubahan waktu, temperatur, maupun interaksi di antara keduanya **tidak memberikan pengaruh spesifik terhadap nilai pertambahan panjang**.

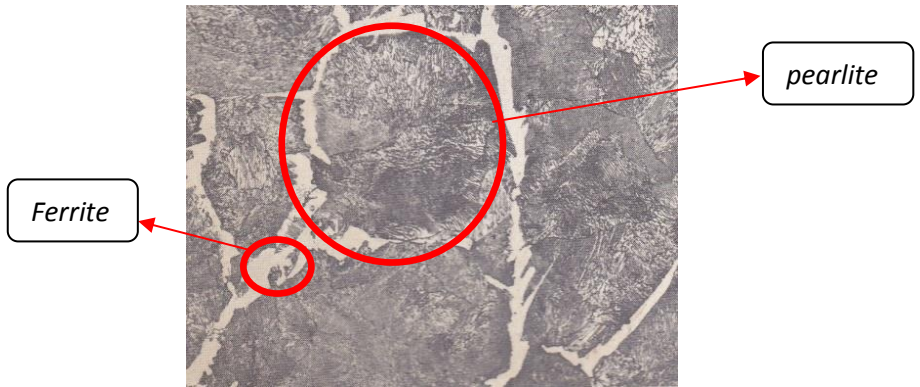
4.3 Analisis Data

Struktur mikro awal dari spesimen JIS S45C adalah *ferrite* dan *pearlite*. Hal ini disebabkan karena baja JIS S45C merupakan baja *hypoeutectoid* dengan kadar karbon 0.38%-0,43% sehingga pada kondisi ekuilibrium terdapat *pearlite* dan *ferrite*.



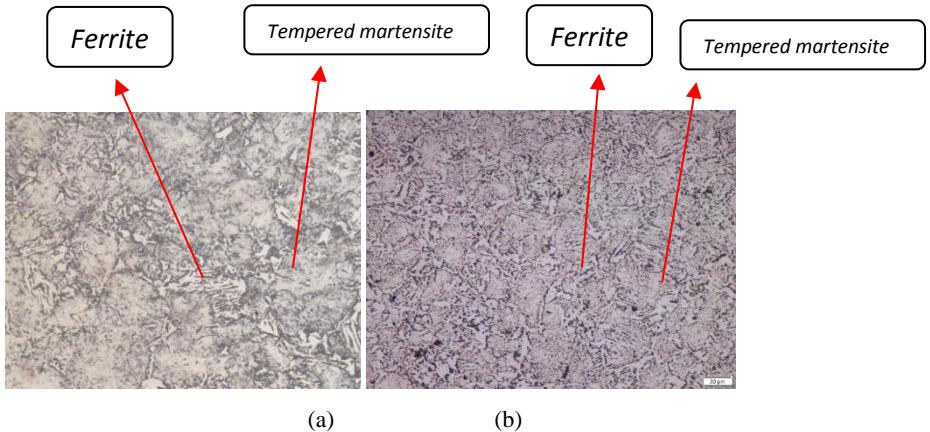
Gambar 4.6. Struktur mikro baja JIS S45C *as received* (a). Perbesaran 500x (b). Perbesaran 1000x

Pada struktur mikro baja S45C *as received* terdapat dua jenis struktur mikro yang berbeda yaitu luasan berwarna putih dan hitam. Untuk menentukan kedua jenis struktur mikro tersebut dilakukan perbandingan hasil metalografi dari baja JIS S45C dengan foto struktur mikro dari baja ekivalen AISI 1040 pada buku *Atlas of Microstructures of Industrial Alloys* [10]. Dari perbandingan tersebut, dapat dipastikan bahwa luasan berwarna putih adalah *ferrite* dan luasan berwarna hitam adalah *pearlite*.



Gambar 4.7 Struktur mikro baja AISI 1040 [10]

Struktur mikro dari baja JIS S45C setelah diberi perlakuan panas didominasi oleh *tempered martensite*. Dari gambar 4.8 dapat dilihat bahwa daerah berbentuk seperti jarum merupakan *tempered martensite* sedangkan daerah putih merupakan *ferrite* [10].



Gambar 4.8. (a) Struktur mikro AISI 1040 [10] (b). Struktur mikro baja JIS S45C setelah perlakuan panas

Dari hasil pengujian tarik dapat dilihat bahwa nilai UTS (*Ultimate Tensile Strength*) mengalami peningkatan dari variasi temperature *partitioning* 350°C (*martensite start*) sampai ke variasi temperature terbesar yaitu 425°C meskipun kenaikannya tidak terlalu signifikan. Maka dapat disimpulkan bahwa kenaikan temperatur *partitioning* akan meningkatkan kekuatan tarik dari material.

Selain temperatur, waktu *partitioning* juga berpengaruh terhadap kekuatan tarik baja. Hal ini dapat dilihat dari grafik uji tarik spesimen dengan waktu *partitioning* 100 detik berada di atas grafik uji tarik dengan variasi waktu *partitioning* lainnya diikuti dengan grafik variasi waktu *partitioning* 10 detik kemudian 1000 detik.

Fenomena ini terjadi di hampir setiap variasi temperatur kecuali pada temperatur 350 °C (*martensite start*) dimana nilai uji tarik spesimen dengan waktu *partitioning* 10 detik lebih besar dari specimen dengan waktu *partitioning* 100 detik diikuti dengan specimen variasi waktu *partitioning* 1000 detik.

Hal yang cukup unik adalah spesimen 5-3 (375 °C, 1000 s) memiliki kekuatan tarik yang sangat besar dibandingkan dengan specimen pada variasi lain. Spesimen ini juga mengalami pertambahan panjang yang cukup kecil dibandingkan specimen lain yaitu sebesar 6,19%.

Data *reduction area* dan pertambahan panjang menghasilkan grafik yang fluktuatif, namun kedua data memiliki *trend* grafik yang hampir sama. Pada variasi waktu penahanan 10 detik, *reduction area* mengalami penurunan dari variasi 350 °C sampai 400 °C, kemudian mengalami kenaikan yang cukup signifikan pada variasi 425 °C. Sementara pada variasi 10 detik, specimen mengalami kenaikan pertambahan panjang dari variasi 350 °C ke variasi 375 °C. Kemudian turun lagi pada variasi 400 °C, hingga akhirnya kembali naik pada variasi 425 °C.

Pada variasi waktu penahanan 100 detik, kedua grafik mengalami kenaikan dari variasi 350 °C ke variasi 375 °C. Kemudian terjadi penurunan nilai *reduction area* dan nilai pertambahan panjang dari variasi 375 °C sampai ke variasi 425 °C.

Pada variasi waktu penahanan 1000 detik kedua data mengalami fluktuasi dimulai dari variasi 350 °C, kemudian turun pada variasi 375 °C. Selanjutnya kedua data mengalami kenaikan pada variasi 400 °C, dan kembali turun pada variasi 425 °C.

Cukup sulit untuk menarik kesimpulan dari data *reduction area* dan data pertambahan panjang dikarenakan

trend data yang fluktuatif. Namun dapat diketahui bahwa nilai *reduction area* maksimum terdapat pada variasi 350 C dengan waktu penahanan 1000 detik. Sementara nilai pertambahan panjang maksimum didapatkan dari variasi 425 C dengan waktu penahanan 10 detik.

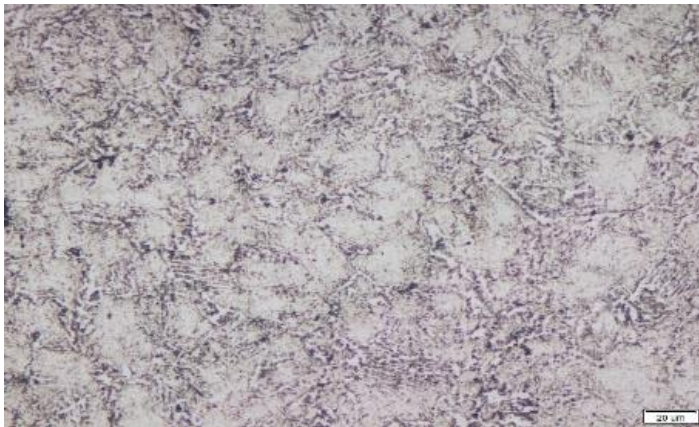
Nilai ketangguhan dari seluruh specimen juga mengalami fluktuasi sehingga cukup sulit untuk mendapatkan pola tertentu dari perlakuan panas yang diberikan. Namun dapat dilihat pada grafik bahwa specimen dengan variasi waktu penahanan 100 detik memiliki nilai ketangguhan yang paling tinggi, diikuti dengan variasi waktu penahanan 1000 detik dan 10 detik. Hal ini menunjukkan bahwa waktu *partitioning* 100 detik merupakan waktu *partitioning* optimum untuk meningkatkan ketangguhan

Waktu *partitioning* berpengaruh terhadap kekerasan dari material. Hal ini dapat dilihat pada grafik kekerasan dimana specimen dengan waktu *partitioning* 100 detik memiliki nilai kekerasan paling tinggi pada hampir seluruh variasi temperatur, diikuti dengan specimen dengan waktu *partitioning* 10, dan 1000 detik. Hal ini menunjukkan bahwa waktu *partitioning* 100 detik merupakan waktu *partitioning* optimum untuk meningkatkan kekerasan.

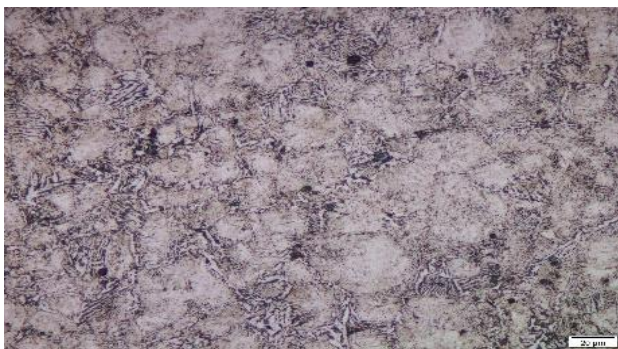
Nilai kekerasan dari seluruh spesimen yang diuji cenderung mengalami kenaikan dari variasi 375 C ke variasi 400 C. Selanjutnya nilai kekerasan pada variasi 425 C dengan waktu 10 dan 100 detik bernilai sama pada 40 HRC dan nilai kekerasan pada variasi 425 C dengan waktu penahanan 1000 detik adalah 42 HRC.

Peningkatan temperatur *partitioning* berdampak pada meningkatnya jumlah karbon yang keluar dari *martensite*. Pada kasus *partitioning* di atas *martensite start*, dengan waktu tertentu karbon yang keluar akan membentuk *lower*

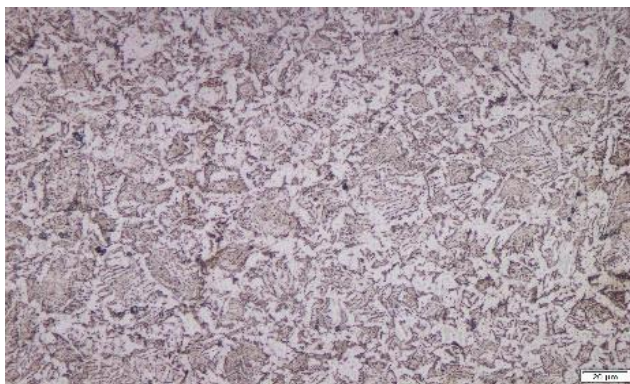
bainite atau *upper bainite* sehingga kekuatan tarik dan kekerasan specimen akan meningkat seiring dengan peningkatan temperature *partitioning*. Selain itu peningkatan temperature *partitioning* akan mengakibatkan jumlah karbon yang keluar dari *tempered martensite* semakin banyak. *Bainite* tidak terlihat pada struktur mikro karena untuk melihat *bainite* dibutuhkan mikroskop electron dengan perbesaran sekitar 15.000x [3]. Pengaruh temperatur *partitioning* terhadap struktur mikro dapat dilihat pada gambar 4.8.



(a)



(b)



(c)



(d)

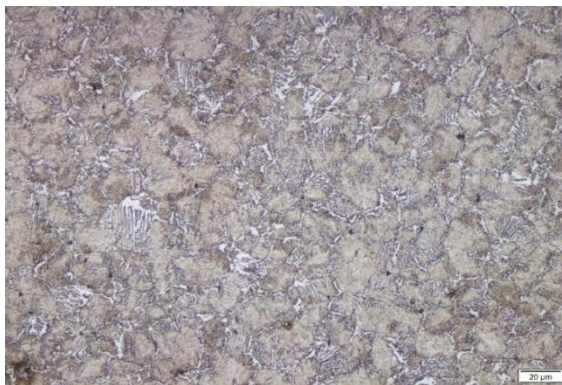
Gambar 4.9 Struktur mikro baja JIS S45C setelah diberi perlakuan *Quenching Partitioning* pada temperatur *quenching* 230 °C dan temperatur *partitioning* (a). 350 °C (b). 375 °C (c). 400 °C (d). 425 °C dengan waktu penahanan 10 detik.

Dari gambar 4.9 dapat dilihat bahwa semakin tinggi temperatur *partitioning* maka fraksi daerah berwarna putih semakin banyak. Berdasarkan buku *Atlas Microstructures of Industrial Alloys* [10] daerah tersebut adalah *ferrite*. Fraksi *ferrite* menjadi cukup banyak dikarenakan lamanya waktu *partitioning* yang diberikan sehingga karbon pada *martensite* berdifusi keluar dan merubah struktur kristal *martensite* dari BCT menjadi BCC. Sehingga secara teoritis *martensite* akan terlihat seperti *ferrite*. Hal inilah yang menyebabkan bertambahnya fraksi daerah putih pada struktur mikro.

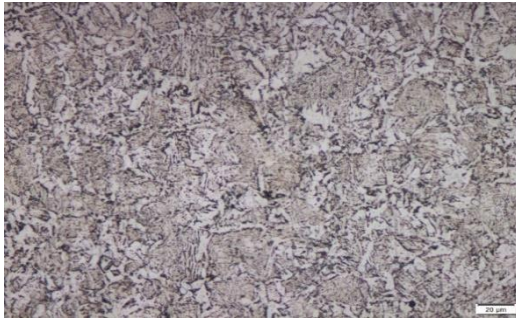
Waktu penahanan *partitioning* juga berpengaruh terhadap struktur mikro material. Pada kasus temperatur *partitioning* di atas *martensite start*, semakin lama waktu penahanan tidak hanya berpengaruh pada jumlah karbon yang

berdifusi keluar dari *martensite*, tapi juga berpengaruh pada pembentukan *bainite*. Karena pada temperatur di atas *martensite start* terdapat daerah pembentukan *bainite*.

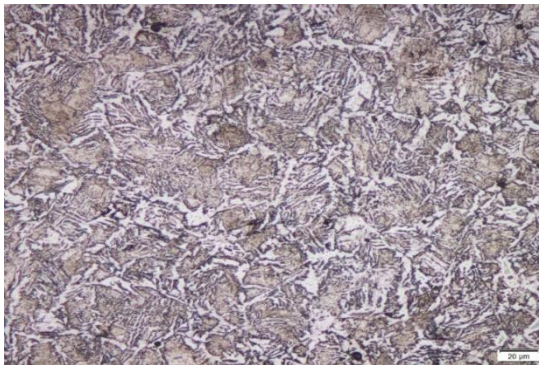
Fenomena inilah yang menyebabkan mengapa kekuatan tarik serta nilai kekerasan material dengan waktu penahanan 100 detik lebih unggul dibanding material dengan waktu penahanan 10 detik dan 1000 detik. Spesimen dengan waktu penahanan 10 detik tidak dapat membentuk *bainite* karena waktu yang diberikan tidak cukup untuk membentuk *bainite*. Sedangkan spesimen dengan waktu penahanan 1000 detik juga membentuk *bainite*. Akan tetapi karena waktu penahanan yang terlalu lama, karbon yang keluar dari *martensite* bertambah banyak sehingga berkontribusi menurunkan kekerasan dan kekuatan dari spesimen tersebut.



(a)



(b)



(c)

Gambar 5. Struktur mikro baja JIS S45C setelah diberi perlakuan *Quenching Partitioning* pada temperatur *quenching* 230 C dan temperatur *partitioning* 425 C dan waktu penahanan (a). 10 detik (b). 100 detik (c). 1000 detik

Dari gambar 5 dapat dilihat bahwa semakin lama waktu penahanan *partitioning* maka fraksi *ferrite* semakin banyak (daerah putih) hal ini disebabkan karena penambahan waktu *partitioning* akan memberikan waktu bagi karbon dalam *martensite* untuk berdifusi keluar dan membentuk karbida. Sedangkan *martensite* yang sudah banyak kehilangan karbonnya akan berubah strukturnya dari BCT menjadi BCC yang identik dengan *ferrite*. Sehingga hal tersebut menjelaskan bertambahnya fraksi *ferrite* yang terlihat pada struktur mikro.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari pengujian ini dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut.

5.1.1 Pengujian Tarik

Dari uji tarik dapat disimpulkan bahwa nilai UTS (*Ultimate Tensile Strength*) mengalami peningkatan dari variasi temperature *partitioning* 350 °C (*martensite start*) sampai ke variasi temperatur terbesar yaitu 425 °C meskipun kenaikannya tidak terlalu signifikan.

Sedangkan penambahan waktu penahanan *partitioning* akan meningkatkan kekuatan tarik material di tiap temperatur pada waktu penahanan 100 detik, namun akan kembali menurunkan kekuatan tarik pada waktu penahanan 1000 detik. Hal ini disebabkan karena penahanan *partitioning* yang terlalu lama akan memberi waktu bagi karbon untuk berdifusi keluar dari *martensite* sehingga akan menurunkan kekuatan material.

Nilai ketangguhan tertinggi dicapai pada specimen dengan variasi waktu penahanan 100 detik pada tiap temperatur.

5.1.2 Pengujian Kekerasan

Secara teoritis, jika *austenite* bertransformasi menjadi *martensite* akan diperoleh nilai kekerasan sebesar 46 HRC. Hal ini juga berlaku jika *austenite* bertransformasi menjadi *lower bainite*. Sedangkan jika *austenite* bertransformasi

menjadi *upper bainite* maka kekerasannya akan menjadi 40 HRC.

Kedua, dari hasil uji kekerasan didapatkan bahwa nilai kekerasan berada pada 30 – 47 HRC. Nilai kekerasan terendah terdapat pada variasi 350 °C dan 375 °C dengan waktu penahanan 10 detik yaitu sebesar 30,5 HRC. Sedangkan nilai kekerasan tertinggi terdapat pada variasi 350 °C dengan waktu penahanan 1000 detik yaitu sebesar 47 HRC.

5.1.3 Pengamatan Struktur Mikro

Dari pengamatan struktur mikro diperoleh struktur mikro baja hasil perlakuan panas didominasi oleh *tempered martensite*. Hal ini membuktikan hipotesa pada pengujian kekerasan sebelumnya bahwa dari nilai kekerasan baja hasil perlakuan panas ini berupa *tempered martensite*.

Kesimpulan terakhir, dari uji statistik menggunakan *software* statistik didapatkan bahwa variasi waktu serta temperatur di atas *martensite start* tidak berdampak spesifik terhadap kekuatan, kekerasan dan ketangguhan. Hal ini dapat disimpulkan pula dari data yang dihasilkam tidak memiliki pola tren yang spesifik (naik atau turun) untuk perubahan tiap variasi.

5.2 Saran

Saran dari tim peneliti agar untuk riset berikutnya digunakan material yang memiliki nilai CCR (*Critical Cooling Rate*) lebih rendah seperti AISI 4340 agar proses *quenching* yang dilakukan menjadi lebih efektif dan *martensite* yang dihasilkan lebih banyak. Saran berikutnya adalah untuk penelitian berikutnya agar disertakan pula uji XRD dan uji *microhardness* agar presensi *austenite* pada struktur mikro dapat divalidasi lebih jauh.

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

- [1] ASM “*Atlas of Time-Temperature Diagrams for Irons and Steels*” ASM International, 1991
- [2] Thelning, K.E.,”*Steel and Its Heat Treatment*, 2nded”, Butterworths, London, 1984.
- [3] S. H. Avner, *Introduction to Physical Metallurgy*, 2nded.: McGraw Hill, 1974.J.
- [4] J. Speer, *et al.*,”*Carbon Partitioning into Austenite After Martensite Transformation*,” *Acta Materialia*, vol. 51, pp.2611 – 2622, 2003.
- [5] J.G. Speer, *et al.*,”*Austenite Formation and Decomposition*,” in TMS/ISS, Warrendale, PA, USA, pp. 505 – 522, 2003.
- [6] J.G. Speer, D.K. Matlock, B.C. De Cooman, J.G. Schroth, The “*Quenching and Partitioning*” Process: Background and Recent Progress, vol. 8, no. 4, pp. 417 - 423, 2005.
- [7] W. F. Smith, *Structure and Properties of Engineering Alloys*, 2nded.: McGraw Hill, 1993.
- [8] F. L. H. Gendermann,”*Microstructure and Hardness of 9260 Steel Heat-Treated by Quenching and Partitioning Process*,” Diploma, Aachen University of Technology, Germany, 2004.
- [9] ASM “*Heat Treater’s Guide*” ASM International, 1995
- [10] ASM Metal Handbook vol.7 “*Atlas Microstructures of Industrial Alloys*.” ASM International, 1972
- [11] ASM “*Heat Treater’s Guide*” ASM International, 1995

- [12] Ir. Wahid Suherman, “Pengetahuan Bahan”, Surabaya.
- [13] ASM Handbook vol.1, “*Irons, Steels, and High Performance Alloys.*” ASM, Ohio, 1990.
- [14] William D. Callister, Jr., “*Material Science and Engineering*”, 7th ed.: John Wiley & Sons, Inc., United States of America, 2007.
- [15] H. Yu, S.G. Mhaisalkar. Time–Temperature Transformation (TTT) Cure Diagram of a Fast Cure Non-Conductive Adhesive, Thin Solid Films 504 pp. 331 – 335, 2006.
- [16] George Krauss, “*Martensite in Steel: Strength and Structure,*” Material Science and Engineering, A273 – 275, 40 – 57, 1999.
- [17] J. Speer, *et al.*, “*Carbon Partitioning into Austenite After Martensite Transformation,*” *Acta Materialia*, vol. 51, pp.2611 – 2622, 2003.
- [18] J.G. Speer, D.K. Matlock, B.C. De Cooman, J.G. Schroth, The “*Quenching and Partitioning*” Process: Background and Recent Progress, vol. 8, no. 4, pp. 417 - 423, 2005.
- [19] J.G. Speer, *et al.*, “*Austenite Formation and Decomposition,*” in TMS/ISS, Warrendale, PA, USA, pp. 505 – 522, 2003.
- [20] D. V. Edmons, *et al.*, “*Quenching and Partitioning Martensite – A Novel Steel Heat Treatment,*” Material Science and Engineering: A, vol. 438 – 440, pp. 25 – 34, 2006.
- [21] G. Krauss, *Steel :Processing, Structure, and Performace*, ASM International, Ohio, 2005.

[22] Krom, Arne, Kannengseisser, Thomas., "*In-situ-Phase Analysis Using Synchrotron radiation of low transformation temperature (LLT) Welding*", www.scielo.com, 2008.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Yogyakarta, 15 Januari 1994. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu di Sekolah Dasar Kartini I Batam, SMPN 12 Batam, SMP Dakwah Pekanbaru dan SMAN Cendana Pekanbaru. Setelah lulus dari SMA pada tahun 2011, penulis melanjutkan pendidikan untuk menempuh S – 1 di Institut Teknologi Sepuluh Nopember di Surabaya dengan NRP. 2111100171.

Selama masa perkuliahan, penulis aktif berorganisasi di Mesin Music Club, yaitu sebuah klub musik di Teknik Mesin ITS, selama dua tahun. Selain berorganisasi penulis juga aktif dalam bermusik sebagai pembetot bass bersama band beraliran *jazz-fusion*-nya yang bernama SAT Project. Selain itu penulis juga tergabung dalam komunitas musik ITS Jazz dimana penulis memperluas koneksinya dengan para musisi Surabaya. Selama masa kuliahnya, penulis pernah melakukan kerja praktek di *Garuda Maintenance Facility* di Tangerang dan PT. Miwon di Driyorejo, Gresik.